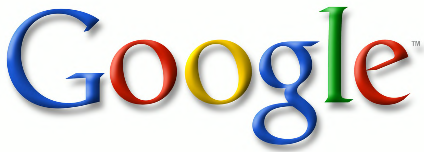


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

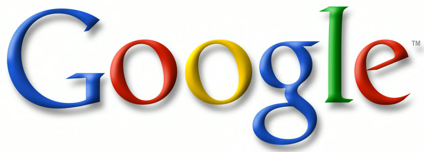
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

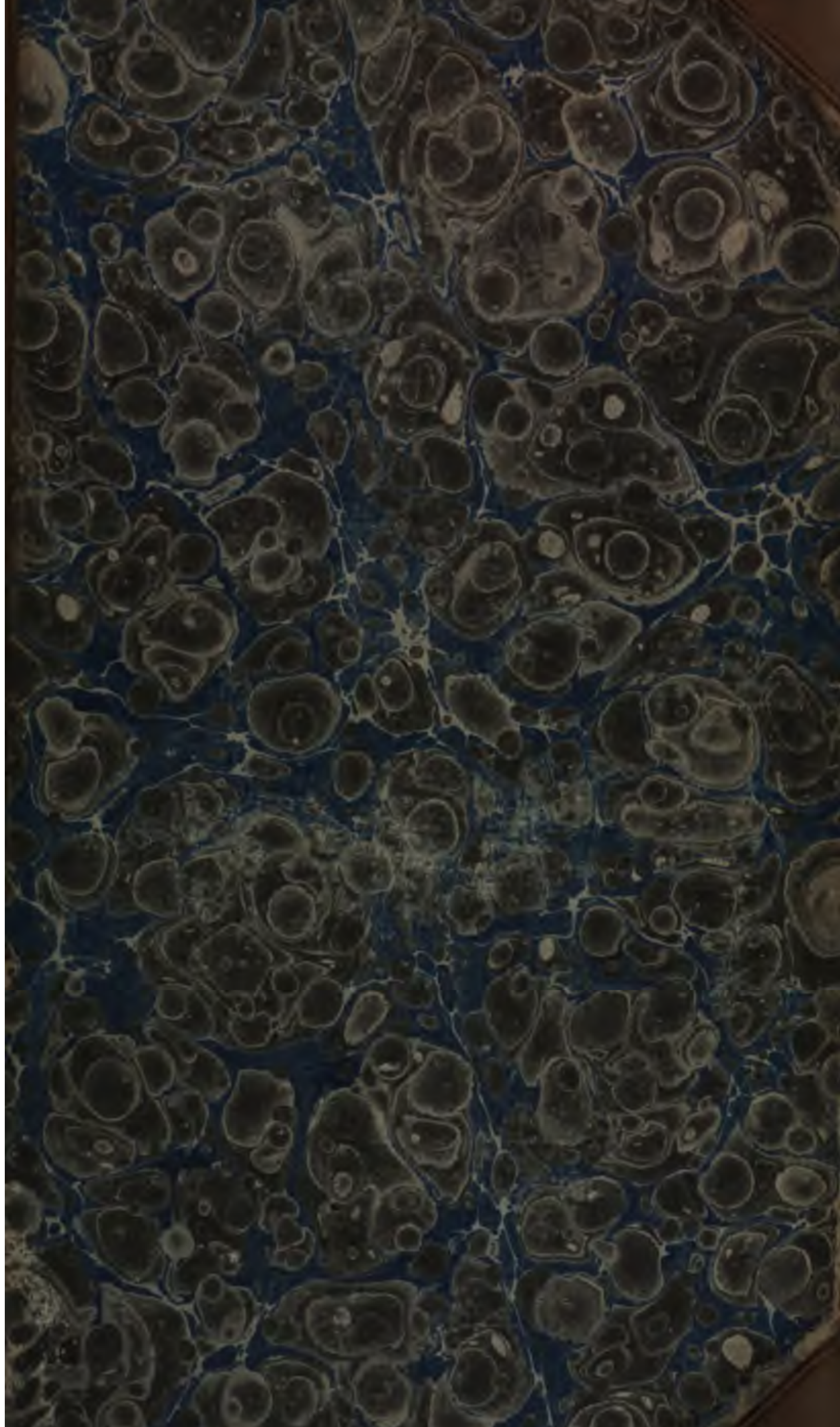
Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



586.5
A6:3

ANNALES

DES

SCIENCES NATURELLES

SEPTIÈME SÉRIE

BOTANIQUE

17798. — Imprimeries réunies, A, rue Mignon, 2, Paris.

ANNALES

DES

SCIENCES NATURELLES

SEPTIÈME SÉRIE

BOTANIQUE

COMPRENANT

L'ANATOMIE, LA PHYSIOLOGIE, LA CLASSIFICATION
DES VÉGÉTAUX VIVANTS ET FOSSILES

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE

M. PH. VAN TIEGHEM

TOME HUITIEME

PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain et rue de l'Éperon

En face de l'École de médecine

1888

108791

RECHERCHES COMPARATIVES

SUR

L'ORIGINE DES MEMBRES ENDOGÈNES

DANS LES PLANTES VASCULAIRES

Par MM. Ph. VAN TIEGHEM et H. DOULIOT (1).

Conduits par une série d'observations anatomiques sur les Primevères et les Auricules, récemment publiées (2), à rechercher comment les racines latérales de ces plantes naissent à l'intérieur de la tige et comment elles s'y accroissent à travers les tissus qui les recouvrent pour paraître enfin au dehors, nous n'avons pas tardé à étendre nos études dans cette direction, non seulement à un assez grand nombre de végétaux appartenant aux familles les plus diverses, mais encore à d'autres membres que les racines latérales. Ce sont les résultats de ce nouveau travail que nous publions aujourd'hui (3).

(1) On sait combien les recherches de ce genre sont longues et difficiles. Aussi, pour donner à ce Mémoire toute l'ampleur nécessaire à la généralisation des résultats et pour le mener néanmoins à bonne fin dans un laps de temps relativement court, un peu moins de trois années, me suis-je associé, principalement pour le dessin des préparations à la chambre claire, l'un de mes élèves, M. H. Douliot, préparateur au Museum. J'ai mis en outre à contribution le zèle et l'habileté de M. E. Bonard, mon autre préparateur; je suis heureux de le remercier ici du concours qu'il m'a prêté.

(2) Ph. Van Tieghem, *Structure de la tige des Primevères* (*Bull. de la Soc. bot.*, XXXIII, p. 95, 1886). — Ph. Van Tieghem et H. Douliot, *Sur la polystélie* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, III, p. 275, 1886).

(3) Quelques-uns de ces résultats ont été communiqués à la Société botanique de France dans les sept notes suivantes : *Observations sur la sortie des racines latérales et en général des organes endogènes* (séance du 14 mai 1886). — *Sur la formation des racines latérales des Monocotylédones* (séance

Les membres qui prennent naissance dans la profondeur du corps de la plante et qui s'y accroissent pendant quelque temps, avant d'en sortir pour s'allonger dans le milieu extérieur, sont dits *endogènes*. On en observe très fréquemment chez les plantes vasculaires : tels sont toutes les radicelles d'ordre quelconque, les racines latérales à l'exception des racines gemmaires (1), quelques racines terminales, les racines adventives issues des feuilles, certains bourgeons caulinaires, la plupart des bourgeons radicaux, certaines émergences, etc. Les Muscinées et les Thallophytes peuvent en produire aussi, comme on le voit par les branches ventrales de diverses Hépatiques, par les appareils sporifères de certains Champignons, etc.; mais de ceux-ci il ne sera pas question dans ce travail. Nous nous proposons seulement d'étudier ici l'origine, le mode de croissance interne et la sortie des divers membres endogènes chez les plantes vasculaires, en divisant notre Mémoire en trois parties, consacrées : la première, aux radicelles; la seconde, aux racines latérales issues de la tige; la troisième, à l'ensemble des autres membres endogènes : racines latérales issues des feuilles, racines terminales, bourgeons, émergences, etc.

Qu'il s'agisse de radicelles, de racines latérales ou de bourgeons, il est tout d'abord nécessaire de séparer les membres endogènes en deux catégories principales, d'après l'âge acquis par le membre générateur au moment où ils y apparaissent et d'après la structure qui correspond à cet âge. Les uns, en effet,

du 23 juillet 1886). — *Origine des radicelles et des racines latérales chez les Légumineuses et les Cucurbitacées* (séance du 26 novembre 1886). — *Nouvelles observations sur l'origine des radicelles et des racines latérales chez les Monocotylédones* (séance du 12 février 1887). — *Origine des radicelles et des racines latérales chez les Rubiacées, les Violacées et les Apocynées* (séance du 22 avril 1887). — *Origine, structure et nature morphologique des tubercules radicaux des Légumineuses* (séance du 10 février 1888). — *Sur les plantes qui forment leurs radicelles sans poche* (séance du 26 mai 1888).

(1) L'un de nous a proposé de nommer *gemmaires* les racines latérales qui naissent de très bonne heure sur la base des bourgeons dans les Crucifères, par exemple, la Ficaire, les Ophrydées, les Sélaginelles, les Prêles, etc., et qui sont exogènes (Ph. Van Tieghem, *Traité de botanique*, 2e édit., 1888).

se forment plus ou moins tôt, avant, pendant ou peu de temps après l'apparition des tissus secondaires dans le membre générateur; mais toujours ils prennent naissance dans la structure primaire, en des places déterminées par la différenciation de cette structure; ce sont les membres endogènes *précoces*, *normaux*, *d'origine primaire*, comme on voudra les appeler, les seuls qui comptent dans l'architecture de la plante. Les autres naissent plus ou moins tard, mais toujours après la formation des tissus secondaires; ils sont produits par ces tissus secondaires, notamment par le méristème secondaire, en des places ordinairement indéterminées et sans rapport avec la différenciation de la structure primaire; ce sont les membres endogènes *tardifs*, *adventifs*, *d'origine secondaire*. Chacune de ces catégories offre à son tour plusieurs subdivisions, suivant le degré de précocité ou le degré de tardivité des membres qui s'y rattachent. Il va sans dire que les membres de la même catégorie sont seuls comparables entre eux dans des plantes différentes; il faudra même s'appliquer à ne comparer dans chaque catégorie que des membres d'égale précocité ou d'égale tardivité. Comparer, par exemple, une racine précoce, d'origine primaire, dans une plante, à une racine tardive, d'origine secondaire, dans une autre plante, serait commettre une faute en Morphologie.

Dans tout ce qui va suivre, à moins que le contraire ne soit dit expressément, il ne sera question que des membres endogènes précoces, normaux, d'origine primaire; on s'attachera même à les prendre sensiblement au même état de précocité moyenne, de manière qu'ils soient toujours rigoureusement comparables entre eux dans des plantes différentes. Pourtant, de temps à autre, on étudiera aussi quelques exemples de membres normaux plus ou moins précoces et de membres adventifs à divers degrés de tardivité, pour montrer les différences que, dans une même plante donnée, ils peuvent présenter par rapport aux premiers et entre eux; provoquées par l'âge et par le changement correspondant de structure du membre générateur, ces différences, souvent considérables,

justifient précisément la nécessité signalée plus haut de ne comparer que ce qui est comparable.

Que les membres endogènes soient précoces ou tardifs, qu'ils soient des racines, des bourgeons, des émergences, etc., le procédé pour en rechercher l'origine, en suivre la croissance interne et en épier la sortie, est toujours le même. On pratique dans le membre générateur des coupes transversales ou longitudinales intéressant le membre endogène encore inclus et passant exactement par l'axe de ce membre, ou au moins telles qu'il soit facile de les rendre optiquement axiles; quelquefois, mais plus rarement, il est possible d'observer les choses directement par transparence, sans sectionner le membre générateur. Dans tous les cas, il est nécessaire de rendre l'objet transparent et les cloisons cellulaires bien visibles. Pour atteindre ce double résultat, nous avons fait usage avec succès, en le modifiant un peu, du procédé récemment indiqué par M. Lemaire (1).

Pour obtenir la transparence des coupes ou du membre générateur tout entier, on les fait macérer d'abord dans l'hypochlorite de soude (eau de Labarraque du commerce), ou dans l'hypochlorite de potasse (eau de Javel du commerce), puis dans la potasse. On verse dans un verre de montre la solution d'hypochlorite et l'on y place les coupes jusqu'à ce qu'elles ne semblent plus contenir aucune matière opaque. On s'assure, en les regardant au microscope, que le protoplasme et les leucites, ainsi que leurs dérivés, notamment les grains d'amidon et les corps gras, ont disparu comme tels, et que les noyaux seuls subsistent dans les cellules, mais sont peu visibles. Pour dissoudre ces noyaux, les coupes, prises une à une à l'aide d'une petite spatule, d'une pince ou d'une aiguille à cataracte, sont transportées dans un deuxième verre de montre contenant de la potasse. On les y laisse séjourner quelques minutes, puis on les lave à grande eau en les trans-

(1) Lemaire, *Recherches sur l'origine et le développement des racines latérales chez les Dicotylédones* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, III, p. 172, 1886).

portant dans un godet contenant de l'eau pure, puis dans un deuxième et même dans un troisième godet, afin qu'aucune trace de potasse ne reste dans les tissus. Les cellules sont alors complètement vides; tout le contenu a disparu, à l'exception des cristaux d'oxalate de chaux dans les éléments qui en contenaient.

Cela fait, il faut colorer les membranes avec une substance qui imprègne la cellulose d'une façon indélébile et qui soit cependant assez transparente pour qu'une assise de cellules n'empêche pas de voir celle qui est au-dessous. La meilleure des substances à employer est le brun d'aniline (brun Bismarck du commerce). On en fait dans l'eau distillée une solution concentrée, que l'on filtre soigneusement avant de s'en servir. On plonge pendant une minute les coupes à colorer dans cette solution; les membranes y prennent aussitôt une coloration brune. Cette couleur pâlit à la longue, le brun d'aniline étant légèrement soluble dans le baume de Canada. Nous avons obtenu une coloration noire tout à fait indélébile des membranes les plus minces par un procédé nouveau qui nous a été indiqué par M. Flot. Les coupes, nettoyées comme ci-dessus, sont plongées pendant une minute ou deux dans une solution étendue de tanin, puis portées rapidement dans une solution très étendue de perchlorure de fer, où les membranes prennent aussitôt une coloration noire. Il importe de les retirer immédiatement et de les laver à l'eau.

On peut observer dans la glycérine ou dans la gélatine glycérinée les coupes ainsi colorées, mais il vaut mieux se servir de baume de Canada, qui donne aux tissus une grande transparence sans ôter aux cloisons leur netteté et qui rend les préparations inaltérables. Pour cela, on plonge les coupes d'abord dans l'alcool absolu, puis dans l'essence de girofle ou le xylène, enfin dans le baume, qui a été dissous au préalable dans l'un ou l'autre de ces deux liquides.

Il est quelquefois utile, pour déterminer l'origine exacte du membre endogène et la nature des couches de cellules qu'il traverse, de savoir distinguer, parmi les tissus du membre

générateur, ceux dont les membranes ont subi la lignification ou la subérisation. Pour atteindre ce but, on colore ces derniers par la fuchsine, les autres par le bleu d'aniline. La coupe, préalablement nettoyée, est placée d'abord pendant quelques secondes dans une solution de fuchsine ammoniacale, puis lavée à plusieurs eaux; les cellules lignifiées ou subérisées se colorent seules en rouge. On plonge ensuite la section dans une solution aqueuse très concentrée de bleu d'aniline et on la lave dans l'alcool; toutes les cellules dont la membrane est restée à l'état de cellulose pure sont maintenant colorées en bleu. Ainsi préparée à deux couleurs, la coupe est ensuite montée dans le baume de Canada.

On obtient de meilleures préparations à deux couleurs en se servant de vert d'iode et de carmin aluné. Le vert d'iode colore fortement toutes les membranes lignifiées, et cette coloration persiste après lavage à l'eau et à l'alcool. Le carmin colore les membranes de cellulose pure. Les membranes subérifiées ne sont pas colorées dans les préparations bien lavées.

Ces deux modes de coloration, en brun ou en noir pour ce qui est du membre endogène, en bleu et rouge ou en rose et vert pour ce qui est du membre générateur, se complètent utilement l'un l'autre.

PREMIÈRE PARTIE

ORIGINE, CROISSANCE INTERNE ET SORTIE DES RADICELLES

L'origine des racines endogènes, qu'il s'agisse des radicelles, des racines latérales ou de la racine terminale, a été l'objet de nombreux et importants travaux, qui seront cités et résumés plus loin. Au contraire, le mode de croissance de ces organes à l'intérieur du membre générateur et le mécanisme de leur sortie ont été fort peu étudiés jusqu'ici. On admet généralement, au moins d'une façon implicite, que la jeune racine, puisant sa nourriture exclusivement par sa base dans la région profonde d'où elle procède et sur laquelle elle est insérée, refoule passivement, par ses flancs et par son extrémité, tous les tissus extérieurs, les comprime de plus en plus et enfin les déchire pour paraître au dehors. Cette explication mécanique est assurément très simple et dispense de tout commentaire; mais elle est inexacte et les choses se passent en réalité tout autrement.

La jeune racine se nourrit par toute sa surface. A cet effet, elle attaque et dissout de proche en proche, à l'aide d'un liquide diastasique, toutes les cellules qu'elle vient à toucher, d'abord leur contenu : protoplasme, noyau, amidon, etc., puis leur membrane; elle en absorbe à mesure toute la substance liquide ou liquéfiée, et croît en même temps de manière à remplir l'espace devenu libre. En un mot, elle *digère* toute la portion de tissu située en dehors d'elle et s'y substitue, absolument comme dans la graine l'embryon digère l'albumen qui l'enveloppe et dont il prend la place. C'est donc par le fait même de sa nutrition et de sa croissance interne que la racine se fraie un chemin vers l'extérieur. Toutefois, lorsque

la couche périphérique du membre générateur, en cutinisant ou en lignifiant fortement ses membranes, est devenue inattaquable aux sucs digestifs émis par la racine, celle-ci la comprime, la distend et enfin la déchire pour paraître au dehors. La série des phénomènes chimiques se termine alors, mais alors seulement, par un phénomène mécanique.

Ordinairement l'action dissolvante se limite aux cellules du membre générateur qui sont directement en contact avec la jeune racine; c'est aussi, comme on sait, le cas de la plupart des embryons. Quelquefois cependant le liquide chargé de diastases s'épanche et pénètre tout autour dans un rayon plus ou moins étendu; la digestion s'opère alors à distance, comme pour l'albumen dans la graine des Graminées; il en est ainsi, par exemple, dans les radicelles du *Pontederia crassipes*, dans les racines latérales du *Calla palustris*, etc.

Ceci posé, si l'on observe comparativement ce phénomène de digestion chez un grand nombre de plantes, on voit qu'au point de vue du lieu de production du liquide diastasique, il se manifeste, suivant les cas, de trois manières différentes.

Quelquefois c'est l'épiderme même de la racine, cloisonné au sommet pour former les calottes successives de la future coiffe, qui sécrète le suc chargé de diastases et qui, par conséquent, attaque directement et sans aucun intermédiaire tous les tissus externes du membre générateur, les digère et en absorbe la substance liquéfiée. La jeune racine est alors nue; sa digestion est directe et totale.

Le plus souvent la racine, à mesure qu'elle grandit, pousse devant elle une couche plus ou moins épaisse du tissu du membre générateur, couche qui demeure vivante, pleine de protoplasme, et qui s'étend progressivement en cloisonnant ses cellules, de manière à recouvrir toujours complètement le jeune organe, à la surface duquel elle est et demeure intimement unie, mais dont elle diffère par son aspect, son contenu et ses propriétés. C'est alors cette couche qui sécrète le liquide diastasique, digère tout le tissu extérieur à elle, en absorbe les produits solubles et les transmet à la racine sous-jacente,

ne gardant pour elle que ce qui est nécessaire à sa propre croissance. Aussi mérite-t-elle un nom spécial : nous l'appellerons désormais la *poche diastasique*, la *poche digestive* ou simplement la *poche*. Dans ce cas, la racine latérale est enveloppée; sa digestion est indirecte, puisqu'elle s'exerce par l'intermédiaire de la poche, et partielle, puisqu'elle ne porte que sur la région du corps extérieure à la poche.

Ailleurs enfin, la racine est tout d'abord complètement entourée d'une poche, comme dans le second cas; mais bientôt, en élargissant sa base, elle digère la partie inférieure et latérale de cette poche et n'en laisse subsister que la région terminale. A partir de ce moment, elle est nue sur les flancs, où sa digestion est directe et totale, recouverte au sommet, où sa digestion est indirecte et partielle. Ce troisième cas, caractérisé à partir d'un certain moment par une poche digestive incomplète, réduite à une sorte de bonnet, est évidemment intermédiaire aux deux autres, auxquels il se relie d'ailleurs par une série de transitions.

Ces résultats généraux ont été communiqués par nous à la Société botanique de France dans les séances du 14 mai et du 26 novembre 1886. Postérieurement à cette dernière date, nous avons eu connaissance d'un travail sur le même sujet publié par M. Vonhöhne en 1880 (1). Déjà, M. Reinke, au cours de ses recherches sur la croissance des racines des Phanérogames, publiées en 1871, avait remarqué en passant, à propos du *Trapa natans*, que la sortie des radicelles a lieu par la *résorption* du tissu cortical de la racine mère, avec disparition des contenus et gélification des membranes cellulaires; c'est seulement lorsque la croissance de la radicelle est très rapide, que les assises périphériques de l'écorce sont comprimées et déchirées (2).

(1) H. Vonhöhne, *Ueber das Hervorbrechen endogener Organe aus dem Mutterorgane* (*Flora*, 1880, p. 227).

(2) Reinke, *Untersuchungen über Wachsthumsgeschichte und Morphologie der Phanerogamenwurzel* (*Hanstein's Botanische Abhandlungen*, I, p. 38, 1871).

M. Vonhöhne a fait de la question une étude plus détaillée en prenant pour exemples, d'une part, les radicelles du *Vicia Faba* et du *Lælia Barkeri*, d'autre part les racines latérales du *Poa pratensis*, du *Lysimachia Nummularia*, du *Salix fragilis* et d'un *Lycopodium*. Il en conclut que, pour les radicelles, la sortie s'opère exclusivement par une action chimique, par une résorption de l'écorce tout entière de la racine mère; tandis que, pour les racines latérales, elle a lieu d'abord par résorption de la zone interne, puis par compression mécanique et rupture de la zone externe plus résistante de l'écorce de la tige mère, la seconde phase du phénomène étant ici plus importante que la première. Cette conclusion est conforme aux nôtres, avec cette différence, toutefois, qu'ayant étudié sous ce rapport un nombre de plantes beaucoup plus grand, nous avons pu nous convaincre que, pour les racines latérales comme pour les radicelles, c'est l'action chimique, la digestion, qui joue le rôle le plus important dans le phénomène de sortie.

D'autre part, M. Vonhöhne ayant laissé de côté le mode de formation des racines latérales et des radicelles, l'existence et le rôle de ce que nous avons nommé plus haut la poche digestive lui ont complètement échappé.

La fréquente production de cette poche avait cependant été signalée par les auteurs qui ont étudié l'origine des radicelles et des racines latérales. MM. Nägeli et Leitgeb, en 1868 (1), M. de Janczewski, en 1874 (2), en ont décrit la formation autour des radicelles, aux dépens de l'endoderme de la racine mère, chez plusieurs Monocotylédones et Dicotylédones; mais ces auteurs, loin d'y voir un organe distinct, l'ont considérée comme faisant partie intégrante de la coiffe de la radicelle, dont elle constituerait simplement la zone externe. De son côté, M. Reinke en a signalé l'existence, en 1871, dans les radicelles du *Trapa natans* et dans les ra-

(1) Nägeli, *Beiträge zur wissensch. Botanik.*, IV, p. 138, 1868.

(2) Janczewski (E. de), *Recherches sur le développement des radicelles dans les Phanérogames* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XX, 1874).

cines latérales des *Impatiens* (1) ; mais il a cru que cette couche ne tarde pas à être résorbée par la racine comme le reste de l'écorce, ce qui est une autre erreur. Enfin tout récemment, M. Lemaire a observé cette poche dans les racines latérales d'un grand nombre de Dicotylédones et, sans se rendre compte toutefois de son rôle physiologique, il l'a nettement distinguée de la coiffe en la désignant sous le nom de *calotte* (2) ; malheureusement cette dénomination ne peut être conservée, puisqu'elle sert déjà couramment depuis plus de vingt ans pour désigner chacune des assises cellulaires qui composent la coiffe.

Quant à nous, pour ne rien innover dans le langage ordinaire, nous continuerons d'appeler *coiffe* toute la couche de tissu caduc qui enveloppe et protège l'extrémité d'une racine latérale ou d'une radicelle, au moment où elle sort du membre générateur, indépendamment de l'origine de cette couche. Mais toutes les fois que nous voudrons étudier et préciser cette origine, il faudra que nous ayons à notre disposition deux expressions distinctes de la précédente, l'une pour désigner ce qui, dans la coiffe, est étranger à la racine latérale ou à la radicelle, ce sera la *poche*, l'autre pour désigner ce qui, dans la coiffe, appartient en propre à la racine latérale ou à la radicelle, ce sera la *calyptre*. La coiffe peut être formée à tout âge seulement d'une calyptre (Crucifères, beaucoup de Caryophyllées, de Chénopodiacées, de Fougères, etc.). Elle peut être formée à tout âge seulement d'une poche (*Hydrocharis*, *Pontederia*, *Pistia*, *Lemna*). Mais le plus souvent elle est composée, tout au moins dans la jeunesse de l'organe, d'une poche et d'une calyptre ; c'est alors la poche qui commence, puis la calyptre vient s'y joindre, enfin plus tard, après la sortie du membre et l'exfoliation de la poche, la calyptre reste seule. *Coiffe* est donc un terme de morphologie et de physiologie externes, tandis que *poche* et *calyptre* sont des termes de

(1) Reinke, *loc. cit.*, p. 35, 39, 42, et pl. I, fig. 9, 1871.

(2) Lemaire, *Recherches sur l'origine et le développement des racines latérales chez les Dicotylédones* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, III, 1886).

morphologie et de physiologie internes. C'est toujours dans ce sens que, dans le cours de ce travail, nous emploierons désormais ces trois expressions.

Remarquons encore qu'il n'est permis de comparer la coiffe d'une plante à celle d'une autre plante que s'il est démontré que la coiffe possède dans les deux cas la même composition et la même valeur morphologique. Comparer, par exemple, une coiffe qui est une poche à une coiffe qui est une calyptre, c'est-à-dire deux choses non comparables, conduirait à des erreurs graves en Morphologie.

Après ces considérations générales qui s'appliquent à toutes les racines endogènes, nous pouvons entrer dans l'étude spéciale des radicelles. Nous en rechercherons l'origine, nous en suivrons la croissance interne et nous en épierons la sortie, d'abord chez les Dicotylédones, puis chez les Monocotylédones, ensuite chez les Gymnospermes, en dernier lieu chez les Cryptogames vasculaires : de là quatre chapitres distincts. Des conclusions générales termineront cette première partie du travail.

CHAPITRE PREMIER

RADICELLES DES DICOTYLÉDONES

L'origine des radicelles des Dicotylédones a été étudiée d'abord par MM. Nägeli et Leitgeb, en 1868, chez les *Veronica Beccabunga*, *Lysimachia thyrsiflora*, *Nasturtium officinale* et *Limnanthemum geminatum* (1), puis par M. Reinke, en 1871, chez le *Trapa natans* et l'*Helianthus annuus* (2), enfin par M. de Janczewski, en 1874, chez les *Raphanus sativus*, *Fagopyrum esculentum*, *Helianthus annuus*, *Cicer arietinum*, *Phaseolus vulgaris*, *Pisum sativum* et *Cucurbita Pepo* (3). On

(1) Nägeli et Leitgeb, *Entstehung und Wachsthum der Wurzeln* (*Nägeli's Beiträge*, IV, p. 144, 1868).

(2) Reinke, *loc. cit.*, p. 28, 1871.

(3) Janczewski (E. de), *Recherches sur le développement des radicelles dans les Phanérogames* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XX, p. 52, 1874).

n'a donc jusqu'à présent examiné sous ce rapport que douze genres, représentant seulement neuf familles. Il faut convenir que c'est bien peu pour une classe aussi vaste. Et pourtant l'étude de ces quelques exemples a conduit M. de Janczewski à distinguer chez les Dicotylédones deux types de formation des radicelles.

Dans le premier, la radicelle procède tout entière du péricycle de la racine mère; l'endoderme de la racine mère, ou ne prend aucune part dans le phénomène, ou contribue seulement à la formation de la coiffe de la radicelle. A ce type se rattachent les *Raphanus*, *Fagopyrum*, *Helianthus*; il y faut rapporter aussi les *Veronica*, *Lysimachia*, *Nasturtium* et *Limnanthemum*, étudiés par MM. Nägeli et Leitgeb, ainsi que le *Trapa* observé par M. Reinke : en tout huit genres sur douze, représentant sept familles sur neuf. Dans le second type, le cylindre central de la radicelle tire seul son origine du péricycle de la racine mère; son écorce et sa coiffe dérivent ensemble de l'endoderme et des assises corticales internes de la racine mère. Il en est ainsi dans les *Cicer*, *Pisum*, *Phaseolus* et *Cucurbita* : quatre genres sur douze, représentant deux familles sur neuf.

En reprenant l'étude des plantes observées par les auteurs précédents et surtout en étendant nos recherches à un très grand nombre d'autres genres pris dans toutes les familles importantes de la classe, nous sommes arrivés à cette conviction qu'il n'y a en réalité chez les Dicotylédones qu'un seul type de formation pour les radicelles, mais que ce type subit, suivant les plantes, diverses modifications secondaires.

La radicelle procède, en effet, toujours tout entière du péricycle de la racine mère et s'y forme d'une manière toujours essentiellement la même, qu'il convient de décrire tout d'abord, une fois pour toutes, dans ses traits généraux.

Supposons d'abord que le péricycle soit formé d'une simple assise de cellules, comme c'est le cas de beaucoup le plus fréquent. Ces cellules sont disposées en séries longitudinales. Si la radicelle naît très près du sommet de la racine mère, elles

sont encore sensiblement isodiamétriques; si elle naît plus loin du sommet, à un niveau où l'allongement a pris fin, elles sont au contraire fortement allongées. Dans le premier cas, un certain nombre de cellules isodiamétriques, formant une petite plage circulaire, entrent directement en jeu; dans le second, un certain nombre des cellules allongées se divisent d'abord par des cloisons transversales, de manière à produire une petite plage circulaire de cellules isodiamétriques. Dans l'un ou l'autre cas, c'est la *plage rhizogène*. Sur la section transversale de la racine mère passant par son centre, elle apparaît comme un arc, l'*arc rhizogène*; sur la section longitudinale passant par son centre, elle se montre comme une file, la *file rhizogène*.

Supposons maintenant que le nombre des cellules de l'arc ou de la file rhizogène soit impair, c'est-à-dire que le centre de la plage soit occupé par une cellule unique. Cette cellule s'allonge tout d'abord radialement et en même temps s'élargit progressivement vers l'extérieur en forme d'éventail. Les autres font de même, mais de moins en moins à mesure qu'elles sont plus éloignées du centre, et celles de la périphérie s'accroissent très peu. Il se forme ainsi un petit coussinet lenticulaire qui comprime beaucoup le tissu externe et devient fortement convexe en dehors, qui comprime aussi, mais moins, le tissu interne et ne devient que plan ou faiblement convexe en dedans. Ensuite, la cellule centrale se divise par une cloison tangentielle sensiblement médiane, et les autres font de même, de proche en proche, jusqu'à la périphérie; toutes ces cloisons se correspondent de manière à diviser la lentille tout entière, comme par une cloison unique fortement convexe en dehors, en deux assises.

L'assise interne, plan-convexe ou même bi-convexe, constitue le cylindre central de la radicelle et sa cellule médiane en est l'initiale. Dans l'assise externe, qui est fortement concave convexe, la cellule centrale ne tarde pas à se diviser à son tour par une cloison tangentielle, et ses voisines font de même de proche en proche, mais le cloisonnement s'arrête avant

d'atteindre le bord de la lentille, et il subsiste à la périphérie une ou plusieurs cellules indivises. Des deux nouvelles assises ainsi formées, l'interne constitue l'écorce de la radicelle et sa cellule médiane en est l'initiale; l'externe constitue l'épiderme de la radicelle et sa cellule centrale en est l'initiale. Quant à la bordure de cellules indivises, elle forme autour de la base du cylindre central une zone neutre, qui n'appartient ni à l'écorce ni à l'épiderme, où l'écorce et l'épiderme sont demeurés confondus. Nous désignerons désormais cette zone neutre sous le nom d'*épistèle* (1).

C'est donc la cellule centrale de la plage rhizogène qui seule, par deux cloisonnements tangentiels successifs, produit les initiales des trois régions de la radicelle, initiales qui sont et demeurent indéfiniment distinctes et superposées; c'est elle qui est véritablement la cellule mère de la radicelle. Les autres n'ont à jouer qu'un rôle accessoire; elles produisent les flancs de la base du cylindre central, la zone neutre ou épistèle, la base de l'écorce et la base de l'épiderme; en un mot, toute la partie inférieure par laquelle s'opère l'insertion de la radicelle sur la racine mère. On peut en désigner l'ensemble sous le nom de *cellules annexes*.

Si le nombre des cellules de l'arc ou de la file rhizogène est pair, c'est-à-dire si le centre de la plage est occupé par quatre ou par trois cellules, les choses se passent au fond de la même manière. Mais de deux choses l'une. Ou bien les quatre ou trois cellules centrales s'accroissent et se cloisonnent toutes ensemble et également, comme la cellule centrale unique du cas précédent, pour donner quatre ou trois initiales au cylindre central, autant à l'écorce et autant à l'épiderme; sur la coupe longitudinale axile du mamelon, chacune des trois régions possède alors une paire d'initiales équivalentes. Ou bien l'une des cellules médianes s'accroît radialement et en largeur plus fortement que les autres qu'elle rejette latéralement, et c'est elle seule qui produit, comme

(1) En appliquant au cylindre central le nom de *stèle*, comme nous l'avons fait dans un travail antérieur.

dans le cas précédent, une initiale pour chacune des trois régions. Ce second mode est de beaucoup le plus fréquent.

Une fois les trois régions séparées comme il vient d'être dit, elles s'accroissent et les cellules s'y divisent, à mesure qu'elles grandissent, par des cloisons dont la direction devra désormais être définie par rapport à la région où elles se forment.

Dans l'assise interne, ou cylindre central, il se fait de très bonne heure et de bas en haut, aussi bien dans l'initiale que dans les cellules annexes, des cloisons transverses dont les premières précèdent souvent la séparation de l'écorce et de l'épiderme. Bientôt épuisé dans les cellules annexes, qui s'allongent peu, ce cloisonnement transverse basifuge se poursuit indéfiniment dans l'initiale, qui s'accroît sans cesse au sommet; la pile de segments qui en résulte forme d'abord avec les cellules annexes la base du cylindre, puis édifie tout le reste du cylindre au-dessus de cette base. En même temps, il se fait dans les cellules annexes et dans les segments issus de l'initiale de nouvelles cloisons transverses et des cloisons longitudinales, les unes radiales, les autres tangentielles; la plus externe de celles-ci sépare le péricycle plus ou moins près du sommet. L'initiale qui termine le cylindre ne prend jamais ni cloison tangentielle, ni cloison radiale.

Dans l'assise moyenne, ou écorce, il se fait des cloisons transverses de bas en haut, aussi bien dans l'initiale que dans les cellules annexes; dans ces dernières, le cloisonnement transverse est limité; dans la première, dont la croissance est indéfinie, il est illimité et les segments ainsi détachés vont s'empilant pour édifier, au-dessus de l'anneau d'écorce provenant des cellules annexes, l'écorce proprement dite de la racine. Ensuite il se fait, dans les cellules annexes et dans les segments issus de l'initiale, des cloisons transverses, des cloisons longitudinales radiales et une première cloison longitudinale tangentielle qui donne deux assises à l'écorce. L'assise interne prend habituellement une série de nouvelles cloisons tangentielles de dehors en dedans, dont la dernière sépare

l'endoderme, assise de cellules dont les membranes se plissent et se subérifient d'ordinaire sur leurs faces radiales et transverses ; mais il peut arriver qu'elle ne se divise pas et devienne directement l'endoderme. L'assise externe prend aussi assez souvent une série de nouvelles cloisons tangentielles, mais dirigées ordinairement de dedans en dehors, dont la dernière sépare l'exoderme, assise de cellules dont les membranes se subérifient fréquemment et se plissent quelquefois sur leurs faces latérales et transverses; mais il n'est pas rare qu'elle ne se divise pas et devienne directement l'exoderme. L'initiale de l'écorce ne subit pas de cloisonnement tangentiel, ni radial. Il faut pourtant se garder de donner le nom d'initiales à toutes les cellules indivises qui terminent l'écorce au-dessus du sommet du cylindre central. Comme il a été dit plus haut, l'écorce a, dans la section longitudinale axile de la radicelle, une initiale ou une paire d'initiales, jamais davantage. S'il y en avait seulement trois, la médiane ne pourrait pas fonctionner. Mais les segments provenant du cloisonnement transverse de l'initiale unique de chaque côté, ou de chacune des initiales de la paire du côté où elle est libre, ne prennent pas toujours immédiatement leur première cloison tangentielle; ils peuvent rester plus ou moins longtemps indivis à côté de l'initiale qui les a produits. On peut donc trouver trois et même cinq ou sept cellules indivises côte à côte, alors qu'il n'y a qu'une seule initiale, quatre et même six ou huit cellules indivises, alors qu'il n'y a qu'une paire d'initiales.

Dans l'assise externe, ou épiderme, il se fait d'abord des cloisons transverses de bas en haut, aussi bien dans les cellules annexes, où le nombre en est limité, que dans l'initiale, où la formation s'en poursuit indéfiniment, les segments ainsi empilés édifiant l'épiderme vrai de la radicelle au-dessus de l'anneau d'épiderme produit par les cellules annexes. Ensuite, il se fait de dehors en dedans des cloisons tangentielles qui intéressent non seulement les cellules annexes et les segments issus de l'initiale, mais encore l'initiale elle-même. En réalité, c'est l'initiale qui prend l'initiative de ce cloisonnement tan-

gentiel centripète, de façon que les segments qu'elle détache vers la base par son cloisonnement transverse sont doubles dès le début. Ce cloisonnement tangentiel est accompagné de cloisons transverses et radiales. L'épiderme n'est donc simple que dans l'anneau qui recouvre la base de l'écorce; plus haut, il devient d'abord double, puis triple, puis quadruple, etc., à mesure qu'on s'approche du sommet; en un mot il devient de plus en plus composé. On sait qu'après la sortie de la radicelle, les assises successives dont se compose l'épiderme se détachent, s'exfolient dans l'ordre où elles sont nées, c'est-à-dire de dehors en dedans, à l'exception de l'assise interne qui demeure adhérente à la racine dans le prolongement de l'anneau basilaire d'épiderme simple et devient l'assise pilifère. C'est cet ensemble d'assises caduques que l'on nomme alors la *calyptre*, chacune des assises exfoliées étant une *calotte* de cette calyptre. Mais comme, dans le cours de ce travail, nous abandonnerons ordinairement les radicelles au moment de leur sortie de la racine mère, c'est-à-dire avant le début de l'exfoliation de l'épiderme, nous parlerons rarement de calyptre, bien plus souvent d'épiderme composé.

On voit que, des trois initiales superposées de la radicelle, la supérieure et l'inférieure se cloisonnent d'une manière analogue et pour ainsi dire symétrique; toutes deux prennent d'abord des cloisons transverses par rapport à leur axe commun, et dirigées vers l'initiale moyenne qui les sépare, c'est-à-dire basipètes dans la cellule supérieure, basifuges dans l'inférieure; puis les segments se divisent par des cloisons suivant l'axe commun. L'initiale moyenne, au contraire, enfermée entre les deux autres, se comporte tout autrement; elle ne prend pas de cloisons transverses à l'axe commun, mais seulement des cloisons parallèles à cet axe; ce sont seulement ses segments qui se divisent dans les deux autres directions.

L'épistèle cloisonne aussi ses cellules dans les trois directions. L'assise externe issue de son cloisonnement tangentiel se place dans le prolongement de l'épiderme, qu'elle raccorde en bas avec le bord externe du péricycle; l'assise interne issue

de ce même cloisonnement prend sur les faces radiales et transverses de ses cellules les plissements de l'endoderme, qu'elle raccorde en bas à travers le péricycle avec l'endoderme de la racine mère. A cet effet, la cellule endodermique correspondante de la racine mère prend sur sa face interne, au point considéré, une série de plissements échelonnés, plus tard subérifiés ; elle porte donc, sur la section transversale, une marque noire sur trois de ses faces. Cette cellule à trois séries de plissements, que pour abréger nous nommerons *triplissée*, donne un point de repère précieux pour les recherches; nous aurons souvent à nous en servir plus tard. Ainsi constituée, l'épistèle acquiert en définitive, suivant les plantes, une hauteur plus ou moins grande; la chose dépend du nombre des cellules de la plage rhizogène demeurées indivises lors du second cloisonnement, mais surtout du degré de croissance intercalaire et de l'abondance du cloisonnement transversal de ces cellules.

Le nombre des cellules qui composent l'arc rhizogène varie suivant les plantes et, dans une même plante, suivant les radicelles considérées. Il peut s'élever au-dessus de vingt ou s'abaisser à trois, la cellule mère et deux annexes. Il est très rare qu'il se réduise à l'unité, par défaut de cellules annexes. La cellule mère se partage alors par des cloisons radiales, par exemple en trois, et la seconde cloison tangentielle n'intéresse que le segment médian, les deux autres formant l'épistèle.

Considérons maintenant le cas où le péricycle est formé de plusieurs assises de cellules, à l'endroit où naît une radicelle. La plage rhizogène comprend alors toute l'épaisseur du péricycle. Néanmoins, c'est presque toujours l'assise externe seule qui, agrandissant radialement et cloisonnant ses cellules comme il vient d'être dit, produit la radicelle, c'est-à-dire l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. L'assise interne, ou les assises internes s'il y en a plus de deux, accroissent bien aussi et cloisonnent leurs cellules, mais elles ne produisent que la région inférieure et interne du cylindre

central, région souvent plus volumineuse au début que le reste de la radicelle; elles se comportent, sous ce rapport, comme les cellules annexes de l'assise externe; elles ne sont aussi, toutes ensemble, que des cellules annexes. En d'autres termes, la radicelle proprement dite dérive, dans ce cas, presque toujours tout entière de la cellule centrale ou du groupe de cellules centrales du rang externe de la plage rhizogène. Quand le péricycle est composé, les choses se passent donc au fond presque toujours de la même manière que lorsqu'il est simple.

Pourtant, la seconde assise du péricycle composé prend quelquefois une part essentielle à l'édification de la radicelle, et cela de trois manières différentes. Tantôt elle produit directement tout le cylindre central s'il n'y a que deux assises, ou le sommet du cylindre avec son initiale s'il y en a plus de deux; l'assise externe ne prend alors qu'une cloison tangentielle pour séparer en dedans l'écorce, en dehors l'épiderme, tandis que son bord indivis forme l'épistèle. Tantôt elle subit un cloisonnement tangentiel qui sépare en dehors l'écorce, en dedans le cylindre central tout entier s'il n'y a que deux assises, le sommet du cylindre avec son initiale s'il y en a plus de deux; l'assise externe devient alors directement l'épiderme de la radicelle et il n'y a pas d'épistèle. Tantôt enfin, elle devient directement l'écorce de la radicelle, tandis que l'assise externe devient l'épiderme et que la troisième assise produit le cylindre central tout entier s'il n'y a que trois assises, le sommet du cylindre avec son initiale s'il y en a plus de trois. Dans ce troisième cas, qui suppose un péricycle au moins triple, l'épistèle manque, comme dans le second, et les initiales des trois régions de la radicelle sont déjà distinctes dans le péricycle.

Ces trois manières d'être du péricycle composé sont très rares et doivent être regardées comme des exceptions. Ces exceptions offrent parfois peu de constance. La première, par exemple, se rencontre quelquefois à côté du mode normal dans deux radicelles voisines de la même racine mère. Mais

ce qui en diminue surtout l'importance, c'est le fait bien connu que lorsque dans une racine primaire, terminale ou latérale, le péricycle est composé, il redevient simple, soit déjà dans les radicelles de premier ordre, soit plus tard seulement dans les radicelles secondaires ou tertiaires de cette racine. A partir de ce moment, toutes les radicelles d'ordre supérieur de la plante considérée prennent nécessairement naissance comme il a été dit plus haut.

On voit donc qu'en définitive l'origine et le mode de formation des radicelles sont essentiellement les mêmes chez toutes les plantes dicotylédones.

Fonctionnant comme il vient d'être dit, la plage rhizogène péricyclique occupe une position déterminée par rapport aux faisceaux ligneux et libériens du cylindre central de la racine mère, et cette position entraîne celle des radicelles. Il y a sous ce rapport deux cas à distinguer (1).

Si le cylindre central renferme plus de deux faisceaux ligneux et de deux faisceaux libériens, la plage rhizogène pose son centre en face d'un faisceau ligneux, et par conséquent les radicelles sont disposées sur la racine en autant de séries longitudinales qu'il y a de faisceaux; leur disposition est *isostique*. Si le cylindre central n'a que deux faisceaux ligneux et deux faisceaux libériens, la plage rhizogène pose son centre quelque part entre un faisceau ligneux et un faisceau libérien, en correspondance avec le rayon conjonctif qui les sépare : tantôt au milieu de l'intervalle entre le vaisseau médian externe du faisceau ligneux et le tube criblé médian externe du faisceau libérien, tantôt plus près du vaisseau médian externe, tantôt plus près du tube criblé médian externe. Les radicelles sont alors disposées en deux fois autant de rangées longitudinales qu'il y a de faisceaux, c'est-à-dire en quatre rangées; leur disposition est *diplostique*. Les quatre séries sont équidistantes dans le premier des trois cas signa-

(1) Ph. Van Tieghem, *Recherches sur la disposition des radicelles et des bourgeons dans les racines des Phanérogames* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, V, p. 130, 1887).

lés plus haut, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux dans le second, du côté des faisceaux libériens dans le troisième.

De ces deux règles de position, la seconde est tout à fait générale; la première ne souffre exception que chez les Ombellifères, les Araliées et les Pittosporées. Dans ces trois familles, en effet, le péricycle est creusé de canaux sécréteurs en face des faisceaux ligneux et dans toute son épaisseur, de sorte que la plage rhizogène pose son centre dans l'intervalle entre un faisceau ligneux et un faisceau libérien. Il en résulte que la disposition des radicelles y est diplostique, tout aussi bien si le nombre des faisceaux ligneux et libériens est supérieur à deux que s'il est égal à deux.

A mesure que la radicelle s'édifie dans le péricycle comme il a été dit plus haut et à la place qui vient d'être fixée, elle proémine de plus en plus en forme de cône à la surface du cylindre central et s'enfonce de plus en plus dans l'épaisseur de l'écorce, qui se comporte vis-à-vis d'elle de deux manières différentes.

Tantôt l'endoderme est d'abord attaqué et entièrement dissous sur tout le pourtour de la radicelle; puis chacune des assises corticales subit le même sort, dès que le jeune organe en croissant vient à la toucher. A un moment quelconque de son trajet dans l'écorce, la radicelle a donc son épiderme directement en contact avec les cellules corticales; c'est cet épiderme qui d'abord sécrète le suc diastasique nécessaire à la digestion de ces cellules et ensuite absorbe les produits solubles de cette digestion. En un mot, il n'y a pas de poche digestive; la digestion opérée par la radicelle est directe et porte sur la totalité de l'épaisseur de l'écorce.

Tantôt et bien plus souvent, l'endoderme demeure vivant et suit, en agrandissant et cloisonnant ses cellules, la croissance de la radicelle, à la surface de laquelle il est et demeure intimement uni. C'est alors lui qui d'abord sécrète le liquide diastasique et digère de proche en proche les assises corticales, puis en absorbe la substance ainsi liquéfiée, pour la

transmettre à la radicelle, ne gardant pour lui-même que ce qui est nécessaire à sa propre croissance. En un mot, la radicelle est enveloppée d'une poche digestive endodermique. A l'endoderme s'ajoutent parfois l'assise sus-endodermique et même plusieurs des assises corticales internes, pour constituer une poche digestive plus épaisse, à la fois endodermique et corticale. Dans tous ces cas, la digestion opérée par la radicelle est indirecte et ne porte que sur une partie de l'épaisseur de l'écorce.

Une poche digestive, ou pas de poche digestive : voilà donc deux manières d'être distinctes dérivant, non pas de l'origine et de la construction de la radicelle, mais seulement de son mode d'action sur l'écorce de la racine mère.

Entrons maintenant dans le détail des faits, en les groupant d'après les deux modifications que nous venons de distinguer et de définir.

1. — Radicelles sans poche, digérant directement et totalement l'écorce de la racine mère.

Ce mode de formation nous est offert par trois séries de familles : la première comprend les Crucifères, Capparidées, Fumariacées, Papavéracées et Résédacées; la seconde renferme les Caryophyllées, Portulacées, Illécébrées, Crassulacées, Aizoacées, Amarantacées, Chénopodiacées et Basellées; la troisième se réduit aux Bégoniées et aux Cactées. En tout quinze familles, que nous allons étudier séparément en prenant pour exemples quelques-uns de leurs principaux genres.

Crucifères (pl. I, fig. 1-20). — M. de Janczewski a étudié l'origine des radicelles du *Raphanus sativus* et l'a décrite en ces termes : « Les cellules péricambiales (péricycliques) s'allongent en sens radial et se coupent en deux étages, dont l'intérieur constitue le cylindre central de la radicelle, tandis que l'extérieur se divise à son tour en deux couches, l'une engendrant l'écorce et l'autre remplissant la fonction de couche

calyptrogène. La couche protectrice (endoderme) de la racine mère ne prend aucune part au développement de la radicelle, et subit le même sort que les autres couches corticales situées au-devant de la radicelle » (*loc. cit.*, p. 53). D'autre part, MM. Nägeli et Leitgeb citent « le *Nasturtium officinale* parmi les Dicotylédones, qui produisent, il est vrai, leurs radicelles dans le péricambium (péricycle), mais où en même temps l'assise la plus interne de l'écorce (endoderme) contribue à la formation de la coiffe » (*loc. cit.*, p. 144). Il n'était donc pas inutile de reprendre cette étude.

Considérons d'abord les radicelles qui dérivent de la racine terminale, laquelle a toujours, comme on sait, une structure binaire (1). Nous étudierons ensuite celles qui procèdent des racines latérales, aussi bien des racines latérales qui naissent de la tige hypocotylée et qui sont endogènes que de celles qui se forment sur les bourgeons axillaires de la tige épicotylée et qui sont exogènes.

En ce qui concerne la racine terminale binaire, il faut remarquer tout d'abord que ses radicelles naissent dans le péricycle, non pas exactement en face des deux faisceaux ligneux, de manière à se superposer en deux séries longitudinales diamétralement opposées, comme il était admis, mais bien à droite et à gauche de chaque faisceau ligneux, de façon à se disposer en quatre rangées longitudinales ordinairement rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux (pl. I, fig. 1, 2, 3 et 4), conformément à la règle générale récemment établie par l'un de nous (2).

Prenons pour premier exemple un *Sinapis*, le *S. Allionii*. Avant le début des tissus secondaires, la racine terminale de cette plante offre sur la section transversale, entre l'assise

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XIII, p. 240, 1871).

(2) Ph. Van Tieghem, *Sur la formation quadrisériée des radicelles dans les racines binaires des Phanérogames* (*Bull. de la Soc. bot. de France*, séance du 14 janvier 1887). — *Recherches sur la disposition des radicelles et des bourgeons dans les racines des Phanérogames* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, V, p. 130, 1887).

pilifère et l'endoderme, ordinairement trois assises de grandes cellules disposées en séries radiales et laissant entre elles des méats quadrangulaires (fig. 10). La troisième assise, en contact avec l'endoderme, a ses cloisons radiales et transverses munies vers le milieu d'une forte bande d'épaississement lignifiée, entourant chaque cellule d'un cadre résistant (fig. 13); ces cadres se correspondent exactement d'une cellule à l'autre et, tous ensemble, constituent un réseau de soutien à larges mailles rectangulaires, analogue à celui qui consolide, comme on sait (1), cette même assise sus-endodermique de la racine chez un grand nombre de Conifères (*Thuja*, *Cupressus*, *Taxus*, etc.). Mais ici il y a quelque chose de plus (fig. 13). De chaque bande partent vers l'intérieur une série de fines bandelettes parallèles, qui contournent le bord arrondi de la cellule et s'étendent sur sa face interne; là, elles se bifurquent une ou deux fois, et leurs rameaux s'unissent entre eux et avec les rameaux du même ordre issus de la bande opposée, de manière à couvrir la face interne d'un réseau délicat où l'on compte deux, trois, quatre séries longitudinales de mailles, ou même davantage, suivant la largeur de la cellule (fig. 16). La moitié externe des faces radiales et transverses, ainsi que la face externe de la cellule, demeurent dépourvues d'épaississements. Pourtant, çà et là, on voit le cadre émettre vers l'extérieur une série de courtes et fines bandelettes, qui s'arrêtent ordinairement et se terminent en pointe avant d'atteindre le bord externe, dessinant ainsi sur chaque face radiale ou transverse une série de dents de peigne dirigées vers l'extérieur. C'est le début de la moitié externe du réseau, de bonne heure arrêtée dans son développement (fig. 13 et 16). Le réseau général cylindrique a donc ici chacune de ses larges mailles rectangulaires remplie par un réseau partiel à fines mailles polygonales, qui enveloppent comme d'une poche la moitié interne de la cellule correspondante.

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 5ᵉ série, XIII, p. 187, 1871).

Çà et là une cellule de l'antépénultième assise corticale prend aussi un cadre d'épaississement sur ses faces latérales et transverses, et un réseau partiel sur sa face interne, ce qui renforce le réseau général aux points correspondants (fig. 13, en bas, à gauche). Pour saisir l'ensemble du réseau sus-endodermique, il faut voir de face successivement les cloisons transverses, radiales et tangentielles des cellules, c'est-à-dire aux coupes transversales associer les coupes radiales et tangentielles; il convient aussi de traiter les coupes par la fuchsine ou le vert d'iode, les bandes et bandelettes colorées en rouge ou en vert se détachent mieux sur le fond incolore de la membrane. Mais il n'est pas nécessaire pour observer le réseau de couper la racine, il suffit de l'examiner par transparence, après l'avoir éclaircie par l'hypochlorite de soude et colorée par la fuchsine ou le vert d'iode. Si l'on a soin de mettre au point pour la face interne de l'assise sus-endodermique, le réseau apparaît de face dans toute sa beauté; en mettant au point pour l'axe de la racine, on aperçoit de chaque côté le profil du réseau, tel qu'il se dessine sur les faces radiales des cellules (1).

L'endoderme est composé de cellules plus petites, à plissements subérifiés, superposées ordinairement deux par deux aux cellules à bandes; les plissements sont mieux accusés et plus fortement subérifiés vis-à-vis des faisceaux libériens du cylindre central que vis-à-vis des faisceaux ligneux. Sous le péricycle, formé d'une assise de cellules de même grandeur que celles de l'endoderme et alternes avec elles, le cylindre central, dont la section est elliptique, comprend deux faisceaux ligneux étroits, composés ordinairement de quatre vaisseaux en un seul rang, unis au centre en une lame dirigée

(1) Ce réseau sus-endodermique a été signalé et figuré en 1878 par M. Woronine dans la racine du Chou [Woronine, *Plasmodiophora Brassicæ* (*Jahrbücher für wiss. Botanik*, XI, 1878)]. L'un de nous en a fait récemment une étude comparative, étendue à un grand nombre de genres de la famille des Crucifères [Ph. Van Tieghem, *Sur le réseau sus-endodermique de la racine des Crucifères* (*Bull. de la Soc. bot.*, séance du 25 mars 1887)].

suivant le grand axe de l'ellipse, et deux faisceaux libériens étalés tangentiellement, séparés de la bande vasculaire par deux rangs de cellules conjonctives (fig. 10). Le vaisseau le plus externe de chaque faisceau ligneux alterne avec les cellules correspondantes du péricycle et s'appuie par conséquent contre la cloison qui les sépare. Plus tard la rangée conjonctive interne différencie çà et là ses cellules en vaisseaux, qui s'accolent à la bande diamétrale (fig. 12) et dont l'ensemble constitue le second bois primaire, ou *métaxylème* (1). Bientôt après, le rang externe cloisonne ses cellules tangentiellement et devient générateur du liber et du bois secondaires; ce dernier applique par conséquent ses premiers vaisseaux contre le métaxylème, qui le relie au protoxylème (fig. 11).

Ainsi constituée, la racine terminale commence à produire ses radicelles à une distance du sommet telle que les vaisseaux les plus larges et les plus internes des faisceaux ligneux n'ont pas encore épaissi et lignifié leurs parois (fig. 9 et 10), tandis que les cellules sus-endodermiques portent déjà leurs cadres et leurs réseaux, distance qui est ici d'environ 2 centimètres. Pour en suivre la formation, il est utile de combiner les coupes transversales, les coupes longitudinales radiales et l'observation directe par transparence, ainsi qu'il a été dit plus haut pour le réseau sus-endodermique. Au niveau considéré, le péricycle comptant environ trente-six cellules sur son pourtour dans la section transversale, neuf de ces cellules entrent en croissance radiale et en cloisonnement pour produire une radicelle. L'arc rhizogène formé par ces neuf cellules correspond à l'un des deux faisceaux ligneux, mais obliquement, de manière à placer deux de ses cellules à droite du vaisseau externe, par exemple, et les sept autres à gauche (fig. 9, 10, 11, 12 et 13). La cellule médiane de l'arc est donc séparée du milieu du faisceau ligneux par deux cellules. Ces neuf cellules s'allongent radialement : la médiane d'abord et plus fortement, puis les latérales de proche en proche et de moins

(1) Ph. Van Tieghem, *Sur le second bois primaire de la racine* (*Bull. de la Soc. bot.*, séance du 11 mars 1887).

en moins. Ensuite et dans le même ordre, elles se dédoublent toutes par une cloison tangentielle; le rang interne est destiné au cylindre central de la radicelle (fig. 9). Le rang externe agrandit ses cellules radialement, du centre à la périphérie et les dédouble dans le même ordre par une cloison tangentielle, à l'exception de la dernière cellule de chaque côté, qui reste indivise; il donne ainsi deux assises, l'interne pour l'écorce, l'externe pour l'épiderme de la radicelle (fig. 10 et 14). C'est la cellule médiane de l'arc rhizogène qui donne à chacune des trois régions sa cellule médiane, c'est-à-dire son initiale; c'est d'elle seule, par conséquent, que dérive essentiellement la radicelle. Les huit autres ne sont que des cellules annexes. La bordure de cellules indivises entoure le cylindre central d'une zone neutre, qui n'est ni l'écorce ni l'épiderme, où l'écorce et l'épiderme sont et demeurent confondus; cette zone neutre est l'épistèle (fig. 10 à 14).

Il se fait de la sorte une protubérance lenticulaire, qui va s'accusant de plus en plus, en forme de cône, par la croissance et le cloisonnemeut des cellules qui composent ses trois régions. La marche générale de cette croissance et de ce cloisonnement, dans le cylindre central, dans l'écorce, dans l'épiderme et dans l'épistèle, a été exposée plus haut (p. 13 et suiv.); elle est trop uniforme pour qu'il soit utile de la décrire en détail dans chaque cas particulier. Il suffira, pour permettre les comparaisons nécessaires, de fixer chaque fois l'état des choses, c'est-à-dire la structure du cône radicellaire, à un moment précis, par exemple au moment où la radicelle se dispose à sortir de l'écorce de la racine mère pour paraître au dehors. C'est ce qui sera fait plus loin.

Tout d'abord, le mamelon lenticulaire exerce une pression tant vers l'intérieur sur le faisceau ligneux, qui est légèrement refoulé et devient concave (fig. 13 et 14), que vers l'extérieur sur l'endoderme, qui est maintenu en place par le réseau susendodermique et ne se déforme pas. Puis il agit chimiquement sur les cellules endodermiques, qui perdent leur turgescence, deviennent flasques et se vident, appliquant finalement leur

paroi interne contre leur paroi externe et reployant leurs parois latérales avec leurs plissements subérifiés; après quoi, ces membranes sont elles-mêmes ramollies, gonflées, gélifiées, enfin dissoutes et absorbées par la protubérance, qui se trouve de la sorte amenée au contact des parois internes réticulées des grandes cellules à bandes. A leur tour, celles-ci s'affaissent et se vident, leur réseau et leur cadre d'épaississement s'amincissent et s'effacent; enfin, leurs membranes ne tardent pas à être liquéfiées et absorbées. Les deux ou trois assises corticales suivantes ont le même sort, puis l'assise pilifère est dissoute à son tour vis-à-vis du sommet de la radicelle, qui la traverse pour se produire au dehors (fig. 9, 10, 11, 12, 13 et 14). Dans aucune phase de cette croissance interne, les cellules corticales attaquées ne sont sensiblement refoulées hors de l'assise à laquelle elles appartiennent; il n'y a donc pas action mécanique, compression, mais seulement action chimique, digestion. Pourtant, si la radicelle naît plus loin du sommet, à un niveau où les bandes et bandelettes du réseau sus-endodermique sont plus épaisses et surtout plus fortement lignifiées, les choses se passent autrement. L'endoderme est bien encore résorbé et l'extrémité de la radicelle dissout aussi, en partie du moins, la paroi interne de la cellule sus-endodermique correspondante, avec son fin réseau; mais elle ne peut digérer les épais montants latéraux du cadre; elle les écarte alors, et passe tout entière par la maille ainsi arrondie au milieu; en même temps elle refoule en dehors les cellules sus-endodermiques latérales et sa base est bordée, à droite et à gauche, par les deux lèvres réticulées de la boutonnière ainsi constituée, comme par les deux moitiés d'une coquille bivalve. Il y a donc, dans ce cas, effort mécanique sur le réseau, en même temps qu'action chimique sur le reste de l'écorce.

Quoi qu'il en soit, au moment de sa sortie, le cylindre central de la radicelle, terminé au sommet par une initiale accompagnée latéralement d'un ou de deux segments encore indivis, à partir desquels le péricycle est distinct dans toute la lon-

gueur, commence à différencier à sa base ses deux faisceaux ligneux et ses deux faisceaux libériens ; les premiers se disposent en haut et en bas suivant l'axe de la racine mère, conformément à la règle générale des Phanérogames, et se raccordent obliquement à droite avec la bande vasculaire diamétrale; les seconds se placent de chaque côté; mais, tandis que celui de gauche s'attache sur presque toute la moitié du faisceau libérien correspondant, celui de droite s'insère seulement sur l'extrême bord du faisceau de l'autre côté. Le péricycle se raccorde aussi à la base avec celui de la racine mère. L'écorce, terminée au sommet par une initiale accompagnée de chaque côté par un ou deux segments encore indivis (fig. 12 et 13), compte à la base trois assises, issues de deux cloisonnements tangentiels successifs et centripètes des segments latéraux des initiales, une de moins que la racine mère au même niveau. L'assise interne, qui est l'endoderme, porte déjà quelques plissements à la base, où elle se raccorde avec l'endoderme de la racine mère; à cet effet, la dernière cellule subsistante de cet endoderme acquiert, sur celle des deux faces en biseau de sa paroi interne qui regarde la radicelle, une série de plissements échelonnés qui la relient à la cellule correspondante de l'épistèle et par elle à l'endoderme de la radicelle (fig. 13). Cette cellule endodermique de raccord se distingue de toutes les autres en ce qu'elle porte trois marques noires au lieu de deux : c'est la cellule triplissée. Enfin, l'épiderme de la radicelle n'a encore subi au sommet que deux cloisonnements tangentiels centripètes, qui le rendent triple. Les deux assises externes se détacheront plus tard pour former les deux premières calottes de la calyptre. La première commence seulement vers le milieu de la longueur de l'organe (fig. 13); jusque-là, l'épiderme est et demeure entier. Cette région inférieure, intéressante puisqu'elle est la seule où la radicelle soit pourvue d'un épiderme simple et tout entier adhérent, compte ici en hauteur environ treize cellules assez courtes. Plus tard ces cellules s'allongent et, peu de temps après sa sortie, la radicelle se montre couverte d'un épiderme simple

dans les deux tiers ou même les trois quarts de sa longueur. Entre les points de séparation de la première et de la seconde calotte de la calyptre, on compte alors six cellules environ.

En raison de ce mode de production, l'axe de la radicelle encore incluse dans l'écorce fait sur la section transversale de la racine mère, avec le rayon médian du faisceau ligneux correspondant, un angle que l'un de nous a été conduit à considérer dans un travail antérieur (1) et qu'il a nommé la *déviation* de la radicelle (fig. 10, 11, 12 et 13). Ici, la déviation est d'environ 35-40 degrés (fig. 13). De l'existence et de la valeur de cette déviation (fig. 3, α), il résulte que toutes les radicelles primaires successives sont disposées sur la racine terminale en quatre rangées longitudinales, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux, comme il a été dit en général à la page 21. Il en est ainsi du moins pour toutes les radicelles qui naissent une à une à chaque niveau et pour toutes celles qui se forment deux ensemble à un même niveau sans toutefois correspondre au même faisceau ligneux. Mais lorsque deux radicelles naissent en même temps au même niveau en correspondance avec le même faisceau ligneux, l'une à sa droite, l'autre à sa gauche, les deux arcs rhizogènes empiètent l'un sur l'autre de deux cellules de chaque côté; ils ont quatre cellules communes et se confondent, par conséquent, en un seul arc rhizogène, dont les cloisonnements engendrent aussi une seule radicelle. Cette radicelle a habituellement un cylindre central, une écorce, un épiderme composé et calyptrogène au sommet, comme une radicelle ordinaire; elle diffère toutefois d'une radicelle ordinaire par son diamètre plus grand, puisqu'elle a pour origine et pour base un arc de quatorze cellules au lieu d'un arc de neuf cellules; elle en diffère surtout par sa position, puisque son axe est situé dans le prolongement du rayon médian du faisceau ligneux, c'est-à-dire suivant la bissectrice des axes des deux

(1) Ph. Van Tieghem, *Bull. de la Soc. bot.*, 14 janvier 1887, et *Ann. des sc. nat.*, 7e série, V, p. 135, 1887.

radicelles dont elle tient la place : en un mot, sa déviation est nulle par compensation (fig. 4). Si elle n'a que deux faisceaux ligneux, sa bande vasculaire s'insère exactement sur l'arête du faisceau ligneux et dans son plan, tandis que ses deux faisceaux libériens s'attachent largement et également de chaque côté sur les faisceaux libériens de la racine mère. Mais elle peut avoir aussi quatre faisceaux ligneux, deux en haut, deux en bas, formant deux bandes parallèles insérées obliquement l'une à droite, l'autre à gauche sur le faisceau ligneux de la racine mère. Dans tous les cas, son insertion, au lieu d'être dissymétrique, est parfaitement symétrique. C'est une radicelle double. De pareilles radicelles doubles se rencontrent çà et là dans la plante que nous étudions et il faut être prévenu de leur existence pour n'y pas méconnaître le lieu d'origine et la disposition véritable des radicelles dans la racine terminale (1). Il n'en est pas moins vrai que, pour contenir toutes les radicelles qu'elle peut porter, il faut tracer sur la racine terminale six génératrices : quatre rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux pour les radicelles simples, deux exactement en face des faisceaux ligneux pour les radicelles doubles. Ces deux dernières rangées correspondent aux cotylédons qui surmontent la tigelle ; les quatre autres sont alternes aux cotylédons et aux deux feuilles suivantes, mais rapprochées deux par deux du côté des cotylédons.

Simples ou doubles, une fois que le cylindre central de la racine terminale a acquis le liber et le bois secondaires dont on connaît le mode de formation (2), qu'il s'y est produit un périderme péricyclique et que l'écorce s'y est exfoliée tout entière, y compris l'assise sus-endodermique avec son réseau et l'endoderme avec ses plissements, les radicelles ont leur manchon épidermique basilaire mis à nu et paraissent tout à

(1) Voy. sur ce sujet : Ph. Van Tieghem, *Sur les racines doubles et les bourgeons doubles des Phanérogames* (*Journal de Botanique*, 1er mars 1887, et *Ann. des sc. nat.*, 7e série, V, p. 144, 1887).

(2) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XIII, p. 240, 1871).

fait exogènes. Ces radicelles primaires sont douées de la même structure que la racine terminale et, comme elle, munies d'un réseau sus-endodermique. Elles produisent plus tard de la même manière des radicelles secondaires en quatre séries longitudinales, situées diagonalement par rapport à l'axe de la racine terminale, mais rapprochées deux par deux vers le haut et vers le bas (fig. 7). A leur tour, celles-ci produisent des radicelles tertiaires semblablement disposées, et ainsi de suite.

On comprend que cette disposition quadrisériée des radicelles primaires sur la racine terminale et des radicelles suivantes les unes sur les autres est très favorable à la solide fixation de la plante au sol.

Dans la racine terminale des autres *Sinapis*, les choses se passent comme dans celle du *S. Allionii*. De légères différences s'observent pourtant dans l'épaisseur de l'écorce à traverser, qui compte, par exemple, entre l'endoderme et l'assise pilifère cinq ou six assises dans le *Sinapis alba* (fig. 13), deux seulement dans le *S. geniculata;* dans l'endoderme, dont les cellules sont souvent en même nombre que celles de l'assise sus-endodermique, auxquelles elles sont exactement superposées (fig. 13) (*S. alba*, *turgida*, *dissecta*, etc.); dans le diamètre du cylindre central, notamment dans le nombre des vaisseaux qui se succèdent radialement pour former chaque faisceau ligneux, nombre qui peut s'élever à six ou sept (*S. alba*, fig. 13); dans le nombre des cellules péricycliques du pourtour et de celles qui entrent en cloisonnement pour produire une radicelle et qui peuvent se réduire à sept, six ou cinq; dans la mesure où l'arc rhizogène chevauche sur le faisceau ligneux voisin et par conséquent dans la grandeur de la déviation de la radicelle, qui peut atteindre 45 degrés si le chevauchement est nul (*S. geniculata*, etc.); mais surtout dans la précocité et le degré de développement du réseau sus-endodermique. Ce réseau est quelquefois très précoce. Dans le *Sinapis alba*, par exemple, il apparaît déjà à 2 millimètres du sommet, aussitôt après l'épaississement du premier vaisseau dans chaque faisceau ligneux; dans les *S. arvensis*, *pubescens*, *dissecta*,

il commence à 5 millimètres du sommet. Aussi, chez ces plantes, au niveau où naissent les premières radicelles, est-il déjà assez fortement épaissi et lignifié pour que la radicelle ne puisse pas le digérer; elle le repousse, le fait éclater et sort par la déchirure, comme il a été dit plus haut pour les radicelles les moins précoces du *S. Allionii*. Au contraire, dans les *S. lævigata*, *geniculata*, *juncea*, il est beaucoup plus tardif et n'apparaît qu'au-dessus du niveau où se forment les radicelles, à 2 ou 3 centimètres du sommet et davantage; les radicelles digèrent alors l'assise sus-endodermique sans plus de difficulté que l'endoderme et les autres assises corticales. Non seulement le réseau est plus ou moins précoce, mais encore il est très inégalement développé suivant les espèces. Les cadres rectangulaires sont très épais et remplis par un réticule à mailles petites et nombreuses, dans les *Sinapis alba* (fig. 13 et 16), *Allionii*, *pubescens*, *dissecta*, *hispida*, *arvensis*, *abyssinica;* ils sont minces et remplis par un réticule à mailles larges et peu nombreuses, ou même seulement par des bandelettes transversales allant d'un montant à l'autre en forme de demi-anneaux parallèles (fig. 19), unis çà et là par une bandelette oblique, dans les *S. lævigata*, *geniculata*, *juncea*, où le réseau est en outre fréquemment interrompu et peut manquer sur d'assez longs espaces; enfin, dans le *S. turgida*, le réseau se réduit à des traces tardives, éparses et qui peuvent facilement échapper à l'observation. Notons encore que dans le *S. nigra* la racine terminale est entièrement dépourvue de réseau, tandis que ses radicelles en possèdent dans toute leur longueur.

Les phénomènes se produisent essentiellement de la même manière dans tous les autres genres de Crucifères, au nombre de cinquante-quatre, où nous avons observé, à divers états, et souvent chez plusieurs espèces d'un même genre, la formation des radicelles primaires sur la racine terminale (*Matthiola*, *Notoceras*, *Cheiranthus*, *Nasturtium*, *Roripa*, *Barbarea*, *Turritis*, *Arabis*, *Cardamine*, *Farsetia*, *Berteroa*, *Vesicaria*, *Koniga*, *Alyssum*, *Clypeola*, *Draba*, *Cochlearia*, *Tetrapoma*,

Thlaspi, *Teesdalia*, *Iberis*, *Biscutella*, *Ochthodium*, *Chorispora*, *Malcolmia*, *Hesperis*, *Sisymbrium*, *Alliaria*, *Hugueninia*, *Erysimum*, *Syrenia*, *Camelina*, *Lepidium*, *Isatis*, *Myagrum*, *Goldbachia*, *Succowia*, *Calepina*, *Crambe*, *Rapistrum*, *Enarthrocarpus*, *Raphanistrum*, *Raphanus*, *Bunias*, *Brassica*, *Hirschfeldia*, *Diplotaxis*, *Eruca*, *Erucaria*, *Senebiera*, *Heliophila*, *Schizopetalum*, *Leptocarpæa*, *Jonopsidium*). Ce mode de formation doit donc être considéré comme tout à fait général dans cette famille. Pour ce qui est du *Raphanus sativus*, déjà étudié sous ce rapport par M. de Janczewski (*loc. cit.*, p. 53), nos résultats confirment donc pleinement ceux de cet observateur, sous la réserve toutefois de l'étendue de l'arc rhizogène et de sa position par rapport au faisceau ligneux, comme il sera dit plus loin. Mais en ce qui concerne le *Nasturtium officinale*, on voit que, contrairement à l'opinion de MM. Nägeli et Leitgeb (*loc. cit.*, p. 144), l'endoderme n'y contribue pas à la formation de la radicelle.

D'un genre à l'autre, les différences sont légères, sensiblement du même ordre que celles que nous venons de constater entre les diverses espèces de *Sinapis* et qui se retrouvent d'ailleurs entre les diverses espèces des autres genres, par exemple entre les divers *Sisymbrium*, les divers *Iberis*, les divers *Biscutella*, les divers *Lepidium*, etc. Ce qui varie, en effet, c'est l'épaisseur de l'écorce de la racine terminale à traverser par la radicelle, qui dans le *Raphanus Landra*, par exemple, compte huit rangées cellulaires entre l'endoderme et l'assise pilifère, tandis qu'elle se réduit à une seule assise dans le *Diplotaxis viminea*, par exemple; c'est la bauteur du manchon d'épiderme indivis de la radicelle à sa sortie, qui n'occupe, par exemple, que le tiers de la longueur de la radicelle et ne compte que six cellules dans le *Raphanus;* c'est le nombre des calottes de la future calyptre découpées à ce moment, il y en a trois dans le *Raphanus;* c'est l'étendue et la position de l'arc rhizogène, qui s'arrête quelquefois exactement à la cloison située en face du faisceau ligneux, de manière que la radicelle ne s'insère que sur un seul faisceau libérien et

que deux radicelles peuvent naître simultanément au même niveau, en correspondance avec le même faisceau ligneux, sans se fusionner en une radicelle double (*Lepidium sativum*, *Cheiranthus Cheiri*, etc.) ; tandis que le plus souvent il dépasse plus ou moins le faisceau ligneux (fig. 9 à 12), de façon que la radicelle s'attache à la fois quoique inégalement sur les deux faisceaux libériens et que si deux radicelles naissent simultanément au même niveau, en correspondance avec le même faisceau ligneux, elles se fusionnent nécessairement en une radicelle double (1). En même temps et dans la même mesure varie aussi, naturellement, la grandeur de la déviation ; de pareils changements dans la grandeur de la déviation s'observent d'ailleurs, non seulement d'une espèce à l'autre dans le même genre, mais encore d'une plante à l'autre dans la même espèce et même d'une radicelle à l'autre dans la même plante.

Enfin ce qui varie surtout, c'est la précocité et le degré de développement du réseau sus-endodermique, par suite la manière dont la radicelle naissante se comporte vis-à-vis de ce réseau. Ici encore, les variations se montrent non seulement d'un genre à l'autre, mais encore d'une espèce à l'autre dans le même genre. Comme l'un de nous l'a montré dans un travail spécial sur ce sujet (2), le réseau sus-endodermique prend, suivant les genres et les espèces, quatre formes principales, unies par bien des intermédiaires. Tantôt, comme on l'a vu plus haut dans le *Sinapis alba* (fig. 13 et 16), les grandes mailles rectangulaires ont leurs bords très épais, rectilignes et sont remplies du côté interne par un réticule très fin (*Brassica*

(1) La radicelle dont M. de Janczewski a décrit la formation dans le *Raphanus sativus* était sans doute une radicelle double, ce qui explique que l'auteur l'ait vue se produire exactement en face d'un faisceau ligneux; il dit d'ailleurs de cette radicelle : « Elle est assez volumineuse comparativement à la racine mère; cette circonstance tient à ce que tout le demi-cercle péricambial (péricyclique) renfermé entre les deux tubes cribreux (qui occupent le milieu des deux faisceaux libériens) concourent à la formation d'une radicelle » (*loc. cit.*, p. 53). Cette observation confirme notre supposition.

(2) Ph. Van Tieghem, *Bull. de la Soc. bot.*, XXXIV, p. 125, 1887.

oleracea, *Crambe hispanica*, etc.). Tantôt les grandes mailles ont leurs bords plus minces et festonnés, tandis que les bandelettes du réticule sont plus épaisses, sensiblement de même épaisseur que ces bords (*Cheiranthus Cheiri*, fig. 15, etc.). Dans ces deux cas, les bords des grandes mailles envoient souvent vers l'extérieur des bandelettes en alternance avec les internes, qui s'arrêtent ordinairement avant d'atteindre la face externe, mais quelquefois aussi se prolongent en se ramifiant sur cette face (*Alyssum umbellatum*, *minimum*, etc., fig. 17); c'est alors que le réseau offre son plus grand développement. Ailleurs les bords minces et festonnés des grandes mailles sont réunis en dedans non plus par un réticule, mais seulement par des demi-anneaux parallèles (*Lepidium sativum*, fig. 19, *Schizopetalum Walkeri*, fig. 18, etc.). Ailleurs, enfin, ces bords festonnés ne sont plus réunis du tout; ils envoient seulement vers l'intérieur de courtes bandelettes parallèles qui s'arrêtent et se terminent en pointe, en forme de dents de peigne, avant d'avoir atteint le bord interne de la cellule (*Iberis affinis*, fig. 20, etc.).

De ces quatre formes, c'est la seconde qui offre le type moyen et qui est aussi le plus fréquemment réalisée; la première en dérive par un épaississement exagéré des bords, qui en même temps deviennent rectilignes, la troisième par une simplification du réticule et la quatrième par un avortement complet des bandelettes sur la face interne.

Plus ou moins développé et plus ou moins précoce, le réseau sus-endodermique a été observé jusqu'ici dans les genres suivants : *Matthiola*, *Cheiranthus*, *Arabis*, *Alyssum*, *Koniga*, *Farsetia*, *Berteroa*, *Vesicaria*, *Clypeola*, *Draba*, *Cochlearia*, *Thlaspi*, *Iberis*, *Biscutella*, *Malcolmia*, *Sisymbrium*, *Alliaria*, *Hugueninia*, *Syrenia*, *Camelina*, *Lepidium*, *Isatis*, *Sinapis*, *Hirschfeldia*, *Brassica*, *Eruca*, *Erucastrum*, *Succowia*, *Crambe*, *Rapistrum*, *Enarthrocarpus*, *Erucaria*, *Raphanistrum*, *Raphanus* (1), *Heliophila*, *Schizopetalum*, *Lep-*

(1) Dans le *Raphanus sativus*, le réseau sus-endodermique est tardif et peu développé; c'est ce qui explique qu'il ait échappé à M. de Janczewski.

tocarpæa. On n'a pas trouvé jusqu'à présent de réseau sus-endodermique dans les genres suivants : *Nasturtium*, *Roripa*, *Barbarea*, *Turritis*, *Notoceras*, *Tetrapoma*, *Teesdalia*, *Ochthodium*, *Chorispora*, *Hesperis*, *Erysimum*, *Jonopsidium*, *Myagrum*, *Goldbachia*, *Diplotaxis*, *Bunias*, *Senebiera*. Sur les cinquante-cinq genres étudiés jusqu'ici sous ce rapport, il y en a donc trente-sept, c'est-à-dire les deux tiers, qui sont munis d'un réseau, contre dix-huit seulement, c'est-à-dire un tiers, qui en sont dépourvus, ces derniers étant d'ailleurs répartis à peu près uniformément dans les diverses tribus de la famille.

Dans quelques-uns de ces genres, on n'a pu étudier qu'une seule espèce ; mais chez bon nombre d'autres les observations ont porté sur plusieurs espèces, dont l'étude comparative a mis en relief, comme on l'a vu plus haut chez les *Sinapis*, les variations spécifiques considérables que peut subir le réseau sus-endodermique de la racine terminale, dans sa précocité et dans son degré de développement, variations qui peuvent aller jusqu'à la suppression complète de cet appareil de soutien. Citons-en quelques exemples.

Dans les *Sisymbrium hirsutum*, *binerve*, *Columnæ*, le réseau est précoce et complet; dans le *S. bursifolium*, il est moins précoce et moins continu; dans le *S. Sophia*, il est tardif et se réduit à quelques cellules semi-annelées, isolées ou rapprochées par petits groupes épars. Dans les *Malcolmia rigida* et *chia*, le réseau est assez précoce et complet; il est tardif et incomplet dans le *M. intermedia*, plus tardif encore et réduit à de courts manchons ou à des plages éparses dans le *M. africana*. Dans les *Brassica oleracea*, *Napus*, *campestris*, *Rapa*, le réseau est précoce et bien développé, quoique assez souvent interrompu et manquant par places; dans le *B. carinata*, il est très tardif et très incomplet; dans les *B. Schimperi*, *fruticulosa* et *sabularia*, on n'en a rencontré aucune trace. Les *Berteroa adscendens* et *orbiculata* ont un réseau bien développé, qui manque complètement au *B. trinervata*. Les *Lepidium sativum* (fig. 19), *heterophyllum*, *perfoliatum*,

Eckloni, *Menziesii*, ont un réseau tardif, peu développé et assez souvent interrompu, qui manque aux *L. virginicum*, *hirtum* et *lanceolatum*. Le réseau est précoce et complet dans le *Biscutella ciliata*, tardif et incomplet dans le *B. raphanifolia*, nul dans le *B. auriculata*. Il est assez précoce et très développé dans le *Cheiranthus Cheiri* (fig. 15), tardif et réduit à des traces dans le *Ch. bellidifolia*, nul dans le *Ch. Senoneri*. Il est assez bien développé dans l'*Arabis pendula*, réduit à des traces dans l'*A. Soyeri*, nul dans les *A. Gerardi* et *japonica*. Dans l'*Iberis hesperidifolia*, le réseau est tardif, mais assez bien développé; il est plus tardif et plus incomplet dans l'*I. intermedia* et surtout dans l'*I. affinis* (fig. 20); il paraît manquer tout à fait dans l'*I. umbellata*. Les *Matthiola patens* et *incana* ont un réseau tardif et peu développé, réduit souvent à quelques cellules éparses, qui manque complètement dans les *M. annua* et *tristis*. L'*Erucastrum Cossonianum* a un réseau tardif et peu développé, qui manque aux *E. arabicum* et *obtusangulum*. Le *Camelina sativa* offre un réseau tardif et rudimentaire, dont le *C. microcarpa* est dépourvu. Le *Cochlearia Armoracia* a un réseau très tardif, qui paraît manquer au *C. glustifolia*. Le *Rapistrum perenne* offre çà et là quelques cellules réticulées, traces du réseau qui manque tout à fait dans les *R. orientale* et *rugosum*. De même, l'*Eruca sativa* présente çà et là quelques traces d'un réseau à bord festonné, dont l'*E. cappadocica* paraît totalement dépourvu.

On arrive ainsi, par une suite de transitions, à ces genres cités plus haut dont aucune des espèces étudiées jusqu'à présent n'a offert même des traces de réseau sus-endodermique dans la racine terminale. En même temps, on voit que la situation faite à ces genres peut fort bien n'être que transitoire. Il est possible, probable même, que certaines de leurs espèces possèdent un réseau sus-endodermique plus ou moins développé, dont les espèces étudiées jusqu'ici se sont montrées dépourvues; chaque fois que la chose sera démontrée, le genre correspondant passera de la seconde catégorie à la pre-

mière (1) et il pourra arriver qu'à la longue ils y passent tous, c'est-à-dire que la propriété de produire un réseau sus-endodermique dans leur racine terminale, au moins chez certaines de leurs espèces, se trouve appartenir, en réalité, à tous les genres de la famille des Crucifères.

Provisoirement, les genres de cette famille peuvent être rangés, sous ce rapport, en quatre catégories : 1° ceux dont toutes les espèces étudiées ont un réseau sus-endodermique plus ou moins développé (*Sinapis*, *Sisymbrium*, *Malcolmia*, *Alyssum*, *Vesicaria*, *Isatis*, *Raphanus*, etc.); 2° ceux dont la majorité des espèces étudiées ont un réseau (*Brassica*, *Berteroa*, *Cheiranthus*, *Lepidium*, *Biscutella*, *Iberis*, etc.); 3° ceux dont la majorité des espèces étudiées sont dépourvues de réseau (*Matthiola*, *Erucastrum*, *Camelina*, *Cochlearia*, *Rapistrum*, etc.); 4° enfin, ceux dont toutes les espèces étudiées sont dépourvues de réseau (*Hesperis*, *Erysimum*, *Nasturtium*, *Chorispora*, *Teesdalia*, *Barbarea*, *Diplotaxis*, *Eruca*, etc.). Somme toute, sur cent vingt-cinq espèces examinées jusqu'ici à ce point de vue, quatre-vingts possèdent un réseau plus ou moins développé, quarante-cinq en sont dépourvues.

Dans l'état actuel de nos connaissances, on voit que des genres très voisins, tantôt se ressemblent sous ce rapport, soit par la présence constante ou habituelle (*Alyssum*, *Koniga*, *Berteroa*, *Farsetia*, *Vesicaria*), soit par l'absence constante ou habituelle d'un réseau (*Erucastrum*, *Diplotaxis*), tantôt, au contraire, diffèrent parce que les uns possèdent habituellement un réseau dont les autres sont habituellement dépourvus. C'est ainsi, par exemple, que les *Cheiranthus* se distinguent des *Matthiola*, que les *Malcolmia* se distinguent des *Hesperis*, que les *Sinapis* et *Brassica* se distinguent des *Erucastrum* et *Diplotaxis*, etc.

Quand le réseau sus-endodermique est assez tardif pour ne

(1) C'est ce que la suite des recherches a déjà conduit à faire pour plusieurs des genres qui, dans la communication faite le 25 mars 1887 à la Société botanique, étaient placés dans la catégorie sans réseau (*Matthiola*, *Arabis*, *Heliophila*, *Camelina*, *Erucastrum*, *Biscutella*, *Iberis*, *Rapistrum*).

faire son apparition à un niveau donné qu'après la formation et la sortie des radicelles à ce niveau, on voit quelquefois les cellules de l'endoderme suivre tout d'abord en se dilatant la croissance du cône radicellaire (*Enarthrocarpus pterocarpus*, etc.); un peu plus tard, elles sont aplaties, vidées et résorbées, mais leur digestion est moins rapide que lorsque la résistance du réseau sus-endodermique s'oppose à leur dilatation.

Pour terminer ce qui concerne la formation des radicelles primaires dans la racine terminale, rappelons que M. Clos, en 1848 (1), et, après lui, tous les botanistes qui se sont occupés de cette question, y compris M. de Janczewski, comme on l'a vu plus haut, et tout récemment encore M. Beijerinck (2), ont assigné au pivot des Crucifères deux rangées de radicelles seulement. Pourtant M. Clos n'est pas sans avoir aperçu quelquefois une certaine obliquité dans ces rangées qui en porte le nombre à quatre, mais il a cru se trouver dans ce cas en présence d'une cause d'erreur : « Toutes les plantes de la vaste famille des Crucifères, dit-il, nous ont offert deux rangs opposés de radicelles, affectant quelquefois la direction oblique surtout sur certains pieds âgés (*Sisymbrium Sophia*, *Iberis*, *Capsella*); ce qui peut faire croire, au premier abord, à l'existence de trois ou quatre rangs, et le développement inégal de quelques fibres vient souvent encore aider à cette cause d'erreur. » L'erreur était, au contraire, de ne voir que deux rangées là où il y en a réellement quatre, et même six, en tenant compte des radicelles doubles. La petitesse ordinaire de la déviation dans cette famille, l'âge relativement avancé des plantes étudiées, dont les racines se trouvaient déjà compliquées par des productions secondaires, mais surtout l'examen purement extérieur auquel on se bornait alors, expliquent que M. Clos n'ait pas aperçu le véritable état des choses.

Plus tard, les radicelles primaires que l'on vient d'étudier

(1) Clos, *Ébauche de la rhizotaxie*, p. 12, Paris, 1848.

(2) Beijerinck, *Beobachtungen... über Nebenwurzeln*, Amsterdam, 1886, p. 49.

et dont la structure est toute pareille à celle de la racine terminale produisent des radicelles secondaires, qui y prennent naissance, s'y disposent, s'y accroissent et s'en échappent absolument comme font les radicelles primaires dans la racine terminale (fig. 7); il en est de même des radicelles tertiaires dans les radicelles secondaires, et ainsi de suite. Remarquons cependant que les radicelles primaires et secondaires peuvent avoir un réseau sus-endodermique quand la racine terminale en est dépourvue (*Sinapis nigra*); les radicelles secondaires, tertiaires, etc., auront alors à digérer ou à rompre ce réseau pour pénétrer dans l'écorce, travail que les radicelles primaires n'ont pas eu à accomplir. Inversement, le réseau sus-endodermique, bien développé dans la racine terminale et même dans les radicelles primaires, pourra manquer dans les radicelles secondaires ou d'ordre supérieur (*Cheiranthus Cheiri*, etc.); ce sont alors les radicelles tertiaires et de rang plus élevé qui s'échapperont plus facilement que n'ont fait les radicelles primaires ou secondaires.

Laissons maintenant la racine terminale et ses ramifications de divers ordres et proposons-nous d'étudier la formation des radicelles dans les racines latérales issues de la tige. Ces racines latérales sont de deux sortes. Les unes se forment de bonne heure sur la région hypocotylée de la tige, où elles prennent naissance par voie endogène d'une façon qui sera expliquée dans la seconde partie de ce Mémoire; ce sont les racines latérales proprement dites. Les autres se développent plus tard sur la région épicotylée de la tige, par groupes disposés transversalement en forme d'arcs au-dessus des bourgeons ou à la place des bourgeons à l'aisselle des feuilles, et prennent naissance, comme on sait, par voie exogène. Elles appartiennent au bourgeon axillaire, non à la tige : ce sont des racines gemmaires.

Les racines latérales hypocotylées ont la même structure que la racine terminale, avec ou sans réseau sus-endodermique, suivant que la racine terminale en est pourvue ou non; la lame vasculaire diamétrale y est dirigée verticalement,

comme dans les radicelles primaires de la racine terminale. Les radicelles primaires, secondaires, etc., s'y disposent aussi en quatre rangées rapprochées deux par deux, et se constituent aux dépens du péricycle ainsi qu'il a été expliqué plus haut, en digérant toute l'écorce à partir de l'endoderme, comme les radicelles d'ordre successif de la racine terminale. Il n'y a donc pas à y revenir.

Les racines latérales gemmaires sont de deux sortes. Les unes, les plus grêles, n'ont dans leur cylindre central que deux faisceaux ligneux, unis au centre en une lame diamétrale, avec deux faisceaux libériens alternes; elles partagent la structure binaire de la racine terminale et des racines latérales hypocotylées. Les autres, plus épaisses, ont dans leur cylindre central trois, quatre ou même cinq faisceaux ligneux, avec autant de faisceaux libériens alternes. Considérons d'abord les racines latérales binaires et prenons pour exemple le *Lepidium latifolium*.

Entre l'assise pilifère et l'endoderme, l'écorce de cette racine a neuf assises de cellules disposées en séries radiales; le péricycle unisérié compte environ trente-six cellules sur son pourtour. Les deux faisceaux ligneux posent leur vaisseau externe contre une des cloisons du péricycle et sont séparés des deux faisceaux libériens par deux rangs de cellules conjonctives. Pour former une radicelle, sept ou huit cellules péricycliques grandissent radialement et se cloisonnent; l'arc rhizogène ainsi constitué part ordinairement du vaisseau le plus externe et s'arrête à une ou deux cellules du tube criblé qui occupe le milieu du faisceau libérien. Il en résulte que la jeune radicelle ne dépasse pas le faisceau ligneux, que son liber s'attache sur un seul faisceau libérien et que sa déviation est d'environ 40 degrés. Pourtant on voit quelquefois l'arc rhizogène chevaucher notablement sur le faisceau ligneux; si, en même temps, deux radicelles se forment alors au même niveau, il se fait une radicelle double, insérée au milieu sur le faisceau ligneux et symétriquement à droite et à gauche sur les deux faisceaux libériens, phénomène que l'on a observé, en effet, çà

et là dans cette plante. Les premiers cloisonnements de l'arc rhizogène s'opèrent comme dans la racine terminale; l'endoderme est aussi digéré tout d'abord; l'assise sus-endodermique, encore dépourvue du réseau de soutien semi-annulaire qu'elle prendra plus tard, se dissout ensuite et après elle progressivement toutes les assises de l'écorce. Au moment de la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris vers le haut deux cloisons tangentielles et se montre triple au sommet; sa région inférieure simple, étendue sur la moitié de la longueur de l'organe, compte une dizaine de cellules. L'écorce a au sommet deux initiales et deux segments encore indivis; à la base elle compte cinq assises cellulaires, dont l'interne, c'est-à-dire l'endoderme, se raccorde avec l'endoderme de la racine mère par les cellules triplissées. Plus tard, après la formation du liber et du bois secondaires, après la production d'un périderme dans le péricycle, l'écorce de la racine mère s'exfolie et la radicelle paraît exogène. Quand les racines gemmaires sont binaires, les radicelles y naissent donc aux dépens du péricycle avec digestion complète de l'écorce et s'y disposent en quatre séries rapprochées deux par deux, comme sur la racine terminale ou sur une racine latérale hypocotylée.

Considérons maintenant une racine gemmaire ternaire comme le sont habituellement celles du *Nasturtium officinale*, ou quaternaire comme le sont d'ordinaire celles du *Cochlearia Armoracia*. Dans la racine du *Nasturtium officinale*, par exemple, sous l'assise pilifère et l'assise subéreuse formée de grandes cellules, l'écorce est creusée d'un cercle de lacunes aérifères, séparées par des murs rayonnants unisériés; ces murs sont reliés au cylindre central par deux assises dont l'interne est l'endoderme et dont l'externe demeure à tout âge dépourvue de réseau de soutien. Le cylindre central, sous un péricycle unisérié composé d'environ vingt-quatre cellules sur la section transversale, possède trois faisceaux ligneux confluents en étoile et trois faisceaux libériens alternes. Pour former une radicelle, un arc péricyclique, composé le plus souvent de huit cellules, situées quatre à droite et quatre à

gauche d'un des faisceaux ligneux, entre en croissance et en cloisonnement et se comporte comme il a été dit plus haut. La jeune radicelle ainsi produite pose donc son centre sur le faisceau ligneux et s'insère symétriquement de chaque côté sur les deux faisceaux libériens. Elle digère d'abord l'endoderme, puis la rangée suivante, pénètre dans une lacune qu'elle traverse, pour attaquer enfin et dissoudre l'assise subéreuse et l'assise pilifère. Un peu avant sa sortie, son épiderme est encore indivis au sommet; c'est seulement au moment de paraître au dehors qu'il prend une cloison tangentielle et découpe ainsi la première calotte de la calyptre. A ce moment, l'écorce a deux initiales au sommet. Il résulte de ce mode de formation que les radicelles se disposent sur la racine mère en trois séries. A part l'absence de lacunes aérifères dans l'écorce, les choses se passent de la même manière dans les racines latérales quaternaires du *Cochlearia Armoracia*, et les radicelles s'y disposent en quatre rangées.

Quand la racine latérale offre un type numérique supérieur à deux, les radicelles s'y forment donc comme dans le type binaire; seulement, elles sont disposées en face des faisceaux ligneux et en autant de séries longitudinales, conformément d'ailleurs à la règle générale qui régit tous les cas semblables chez les Phanérogames.

En résumé, qu'il s'agisse de radicelles primaires ou d'ordre quelconque de la racine terminale, de radicelles primaires ou d'ordre quelconque d'une racine latérale hypocotylée endogène, de radicelles primaires ou d'ordre quelconque d'une racine latérale gemmaire exogène, soit binaire, soit d'un type numérique plus élevé, les choses se passent toujours essentiellement de la même manière : la radicelle naît tout entière dans le péricycle et digère directement toute l'écorce; il n'y a pas de poche digestive.

Capparidées (pl. II, fig. 21-29). — La formation des radicelles chez les Capparidées offre moins d'uniformité que chez les Crucifères.

Considérons d'abord les *Polanisia*, dont la racine terminale a la structure binaire et produit ses radicelles en quatre séries longitudinales sensiblement équidistantes; prenons pour exemple le *Polanisia graveolens* (pl. II, fig. 21).

Entre l'assise pilifère et l'endoderme, l'écorce de la racine terminale comprend ordinairement cinq ou six assises cellulaires. Sous le péricycle unisérié, le cylindre central possède deux faisceaux ligneux, unis au centre en une lame diamétrale formée d'un seul rang de vaisseaux, et deux faisceaux libériens séparés de la lame vasculaire par deux ou trois assises de cellules conjonctives. Le péricycle ayant, par exemple, vingt-huit cellules sur son pourtour dans la section transversale, cinq de ces cellules, situées en face d'un intervalle entre un faisceau ligneux et un faisceau libérien, s'agrandissent radialement et se cloisonnent pour produire une radicelle; l'arc rhizogène, tantôt part du vaisseau le plus étroit du faisceau ligneux et s'arrête à deux cellules du milieu du faisceau libérien, tantôt laisse une cellule de chaque côté entre son bord et le milieu du faisceau ligneux ou libérien; il ne dépasse donc pas ordinairement le faisceau ligneux, et par conséquent deux radicelles pourront se former en même temps et au même niveau, l'une à droite, l'autre à gauche du même faisceau ligneux, sans empiéter l'une sur l'autre, sans s'unir en une rdicelle double.

Les cellules rhizogènes s'allongent radialement et se divisent, comme chez les Crucifères, par deux cloisons tangentielles successives : la première sépare vers l'intérieur le cylindre central; la seconde découpe en dedans l'écorce, en dehors l'épiderme et laisse une épistèle tout autour; chacune des trois régions a pour initiale sa cellule médiane. La cellule centrale de la plage rhizogène est donc la cellule mère de la radicelle; les autres ne sont que des cellules annexes. A mesure que la protubérance s'accuse, elle dilate d'abord l'endoderme, dont les cellules s'aplatissent, s'affaissent et enfin sont résorbées; elle digère ensuite la seconde assise corticale, puis la troisième, et ainsi de suite, prenant chaque

fois la place du tissu résorbé; c'est donc directement par son épiderme que la jeune radicelle touche et attaque les cellules corticales. Au moment où elle va percer l'assise pilifère pour paraître au dehors, son épiderme est simple dans les deux tiers de sa longueur et forme un manchon qui compte environ quatorze cellules courtes et qui grandira plus tard par l'allongement de ces cellules; vers le sommet, il a pris deux cloisons tangentielles, est devenu triple et a formé ainsi deux calottes de calyptre. L'écorce se termine par une initiale aplatie, accompagnée d'un segment indivis; ses cellules latérales ne se sont divisées que deux fois pour donner à la base de la radicelle trois assises cellulaires; le raccord des endodermes commence à se faire par l'intermédiaire des cellules triplissées. Enfin le cylindre central offre aussi au sommet une grande initiale avec un segment latéral indivis, à partir duquel le péricycle est distinct.

La déviation de la radicelle ainsi conformée est d'environ 45 degrés (fig. 21); il en résulte que les quatre rangées de radicelles portées par la racine terminale sont sensiblement équidistantes et alternes avec les génératrices médianes des faisceaux ligneux et libériens (fig. 28).

Même formation des radicelles avec prompte digestion de l'endoderme dans le *Polanisia trachysperma* (fig. 22), où l'écorce de la radicelle se termine par quatre cellules simples, dont les deux médianes sont probablement des initiales jumelles, tandis que le cylindre central n'en a qu'une seule. Dans le *P. uniglandulosa*, au contraire, les cellules endodermiques superposées au mamelon radicellaire continuent à s'accroître tangentiellement autour de lui, sans s'affaisser ni se disjoindre, de manière à l'envelopper d'une poche continue, jusqu'après sa sortie (fig. 23). C'est cette poche qui digère l'écorce. L'épiderme de la radicelle se divise alors un peu plus tard que dans le premier cas, pour séparer la première calotte de la calyptre, comme on le voit en comparant la figure 23 à la figure 22. Dans un même genre, certaines espèces peuvent donc produire autour de leurs radicelles une poche digestive,

dont les autres espèces sont dépourvues. Nous allons rencontrer bientôt d'autres exemples de cette variation.

La racine terminale des *Gynandropsis* possède la même structure binaire que celle des *Polanisia* et produit aussi ses radicelles en quatre séries longitudinales. Dans le *G. speciosa*, la radicelle digère de bonne heure l'endoderme et se montre dépourvue de poche. Dans le *G. pentaphylla*, au contraire, l'endoderme dilate ses cellules autour du mamelon radicellaire, les divise par des cloisons radiales, et forme une poche digestive qui accompagne la radicelle jusqu'après sa sortie (fig. 24). C'est cette poche qui attaque et digère les trois assises corticales externes. Au moment de la sortie, l'épiderme de la radicelle ne s'en est pas moins divisé tangentiellement à trois reprises pour devenir quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, s'est cloisonnée deux fois à la base; le cylindre central a au sommet une grande initiale. Cette circonstance et les nombreux cloisonnements tangentiels de l'épiderme donnent à la radicelle une forme très aiguë (fig. 24).

Dans les *Cleome*, la racine terminale offre encore la même structure binaire et forme également ses radicelles en quatre rangées sensiblement équidistantes. L'arc rhizogène ne dépasse pas ou ne dépasse que d'une ou deux cellules le vaisseau le plus externe du faisceau ligneux voisin, ce qui donne à la radicelle une déviation d'environ 40 degrés. Dans les *Cleome muricata*, *triphylla* et *Ecklonianа*, le mamelon radicellaire digère de bonne heure l'endoderme et il n'y a pas de poche (fig. 25). Dans le *Cl. pungens*, au contraire, les cinq ou six cellules endodermiques qui touchent le mamelon se dilatent et, sans se cloisonner radialement, forment autour de lui une poche digestive qui accompagne la radicelle jusqu'à sa sortie (fig. 26). Au moment de la sortie, dans les trois premières espèces, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné trois fois tangentiellement pour découper trois calottes de calyptre (fig. 25); dans le *Cl. triphylla*, le premier cloisonnement a même lieu de très bonne heure, de sorte que la première calotte enveloppe

presque toute la radicelle, ne laissant indivise à la base qu'une seule cellule épidermique. Dans le *Cl. pungens*, l'épiderme n'a pris encore, au moment de la sortie, qu'une ou deux cloisons tangentielles. L'écorce est terminée par une seule initiale, tantôt sans segment indivis (*Cl. Ecklonianu*, fig. 25), tantôt accompagnée de deux segments, un de chaque côté (*Cl. pungens*, fig. 26), ou de trois segments, deux d'un côté, un de l'autre (*Cl. triphylla*); le cylindre central a d'ordinaire au sommet une initiale et un segment latéral indivis. La figure 26 montre deux radicelles nées en même temps au même niveau, du même côté de la bande vasculaire diamétrale, dans une racine terminale de *Cl. pungens*. Chacune d'elles a refoulé légèrement le faisceau ligneux correspondant, de sorte que la bande est devenue concave du côté stérile; le faisceau libérien qui les sépare a été également comprimé et un peu écrasé dans l'angle obtus qu'elles forment.

Les *Isomeris* se distinguent des genres qui précèdent par la structure quaternaire de leur racine terminale et la disposition quadrisériée isostique de leurs radicelles primaires. Dans l'*I. arborea*, par exemple (fig. 27), la racine terminale compte dans son écorce, entre l'assise pilifère et l'endoderme, environ quinze assises de cellules disposées en séries radiales et laissant entre elles des méats quadrangulaires. Son cylindre central possède quatre faisceaux ligneux laissant au centre une moelle à larges cellules, et quatre faisceaux libériens alternes; le péricycle a deux rangs de cellules en face des faisceaux ligneux. Pour former une radicelle, sept ou neuf cellules, formant sur la section transversale de la racine mère un arc dont le milieu est situé sur le rayon médian d'un faisceau ligneux, cellules qui appartiennent à l'assise externe du péricycle double à cet endroit, s'accroissent radialement et se divisent par deux cloisons tangentielles successives (fig. 27); la première porte sur toutes les cellules et isole en dedans le cylindre central; la seconde respecte de chaque côté la cellule extrême de l'arc, qui forme l'épistèle, et sépare partout ailleurs l'écorce de l'épiderme. Les cellules péricycliques du

rang interne s'accroissent et se cloisonnent peu; elles contribuent seulement à former la base du cylindre central (fig. 27). La jeune radicelle refoule d'abord l'endoderme, qui se dilate et forme autour d'elle une poche transitoire (fig. 27); puis elle le digère et la poche disparaît; elle résorbe ensuite successivement toutes les assises corticales. Au moment de sa sortie, son cylindre central, terminé par deux initiales, à partir desquelles le péricycle est distinct, commence à différencier à la base ses faisceaux ligneux et libériens, au nombre de quatre pour chaque sorte; les premiers, situés verticalement et horizontalement, se raccordent directement au faisceau ligneux médian; les seconds, disposés diagonalement, se rattachent à droite et à gauche symétriquement aux deux faisceaux libériens voisins. Au même moment, l'écorce forme autour de l'extrémité un arc de six cellules simples dont les deux médianes seules sont les initiales et les quatre autres des segments encore indivis; elle possède à la base quatre assises, dont la plus interne est l'endoderme. L'épiderme offre d'abord un court manchon simple, puis se divise par deux cloisons tangentielles successives qui le rendent triple au sommet.

Malgré l'existence de deux assises au péricycle au lieu où elles se forment, les radicelles s'établissent donc dans l'*Isomeris* de la même manière que dans les *Polanisia*, *Gynandropsis* et *Cleome*, puisqu'elles naissent tout entières dans l'assise péricyclique externe. Mais la disposition en est toute différente. Elles se superposent encore, il est vrai, en quatre rangées; mais ces quatre rangées, toujours équidistantes, correspondent aux faisceaux ligneux et non aux intervalles qui séparent les faisceaux ligneux des libériens (fig. 29). Deux d'entre elles répondent aux nervures médianes des cotylédons, les deux autres à celles des deux feuilles suivantes, tandis que dans les *Polanisia*, *Gynandropsis*, *Cleome*, comme dans les Crucifères, et en général dans toutes les plantes à pivot binaire, elles alternent à la fois avec les cotylédons et avec les deux feuilles suivantes (fig. 28).

En résumé, dans les plantes de la tribu des Cléomées, que

la racine terminale y ait la structure binaire ou quaternaire, les radicelles primaires naissent tout entières dans le péricycle, le plus souvent sans poche endodermique, comme chez les Crucifères, quelquefois avec poche endodermique simple, cette différence se rencontrant entre les diverses espèces d'un même genre.

Les radicelles secondaires naissent sur les radicelles primaires comme celles-ci sur la racine terminale, sans poche quand les primaires n'en ont pas, avec poche quand elles en ont une, disposées en quatre rangées suivant la règle diplostique quand les primaires ont la structure binaire, suivant la règle isostique quand elles ont la structure quaternaire (*Isomeris*). Il en est de même des radicelles tertiaires sur les secondaires, et ainsi de suite.

Dans la tribu des Capparées, nous avons étudié la formation des radicelles primaires sur les racines latérales, et des radicelles de divers ordres les unes sur les autres chez les *Capparis* et les *Thylachium*. Une racine de *Capparis thyrsiflora*, par exemple, a dans son cylindre central quatre ou cinq faisceaux ligneux à vaisseaux étroits et autant de faisceaux libériens alternes, disposés en cercle autour d'une assez large moelle et recouverts par un péricycle ordinairement de deux assises, quelquefois d'une seule. Pour former une radicelle, un arc péricyclique dont le milieu correspond à un faisceau ligneux accroît les cellules de son assise externe et, par deux cloisons tangentielles successives, produit d'abord le cylindre central, puis l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle (fig. 30). Les cellules de la seconde assise grandissent aussi et se cloisonnent, mais ne forment que la base du cylindre central. La jeune radicelle ainsi formée pousse devant elle l'endoderme dont les cellules demeurent vivantes, s'agrandissent à mesure et se divisent par des cloisons surtout radiales, çà et là aussi tangentielles, constituant ainsi une poche digestive simple dans la majeure partie de son étendue, qui digère progressivement l'écorce (fig. 30). A la sortie et même un peu après, la radicelle est encore enveloppée dans cette poche,

qui ne tarde pas à s'exfolier. Si le péricycle est simple, l'arc rhizogène se cloisonne comme l'assise externe dans le cas précédent, pour produire toute la radicelle (fig. 30).

Les choses se passent de même dans une racine mère à cinq ou six faisceaux du *Capparis saligna*, avec cette différence qu'ici le péricycle est plus épais et offre sur tout son pourtour trois, quatre et jusqu'à cinq assises cellulaires (fig. 31). C'est toujours pourtant l'assise externe qui produit à la fois le sommet du cylindre central, l'écorce et l'épiderme; les deux suivantes grandissent aussi beaucoup, se cloisonnent en tous sens et forment ensemble la région inférieure du cylindre central; la plus interne ou les deux plus internes, s'il y en a cinq, demeurent petites et ne contribuent qu'à raccorder le cylindre central avec le faisceau ligneux.

Dans l'une et l'autre espèce, au moment de la sortie de la radicelle, son épiderme, simple dans sa région inférieure, est quadruple au sommet; son écorce, terminée par une initiale, accompagnée parfois de chaque côté par un ou deux segments indivis, compte cinq assises à la base, où commence à s'opérer le raccord des deux endodermes par l'intermédiaire des cellules triplissées (fig. 31).

Le *Capparis saligna* nous a offert à plusieurs reprises, dans l'écorce de la racine mère, deux radicelles nées en même temps et à la même hauteur vis-à-vis de deux faisceaux ligneux voisins, et fusionnées latéralement en une radicelle double pourvue de deux cylindres centraux distincts, d'une écorce commune à deux initiales séparées et d'un épiderme calyptrogène commun. Enveloppée dans une large poche endodermique, cette radicelle double a son axe de figure dirigé suivant la bissectrice des deux faisceaux ligneux; elle est donc située vis-à-vis d'un faisceau libérien.

Une racine de *Thylachium panduriforme* a dans son cylindre central six faisceaux ligneux formés de vaisseaux étroits et à membranes très épaisses, avec six faisceaux libériens alternes, disposés autour d'une large moelle et enveloppés par un péricycle qui compte deux à quatre assises

cellulaires. Pour former une radicelle, un arc de péricycle dont le milieu s'appuie sur un faisceau ligneux agrandit et cloisonne toutes ses cellules ; mais c'est l'assise externe seule qui se divise tangentiellement deux fois pour produire l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central; les autres ne forment que la base de ce cylindre. L'endoderme suit le développement en cloisonnant radialement ses cellules et enveloppe la radicelle d'une poche endodermique simple, qui se trouve déjà digérée à la base et sur les flancs avant la sortie. Au moment de la sortie, l'épiderme a découpé trois calottes de calyptre; l'écorce a au sommet une seule initiale, mais s'est cloisonnée trois fois tangentiellement à la base. Les choses se passent donc dans les *Thylachium* comme chez les *Capparis*, et l'on voit que les Capparées, où la poche endodermique paraît constante, où le péricycle compte ordinairement plusieurs assises cellulaires, diffèrent notablement des Cléomées et s'éloignent des Crucifères plus que les Cléomées.

Nous n'avons pas pu étudier la racine terminale des *Capparis* et *Thylachium*, mais les Cléomées suffisent pour montrer qu'il y a chez les Capparidées deux types de structure pour la racine terminale, le type binaire, qui est le plus fréquent (*Cleome*, *Polanisia*, *Gynandropsis*) et le type quaternaire (*Isomeris*), qu'il y a aussi deux types de disposition pour les radicelles primaires, le type par quatre diplostique, et le type par quatre isostique. M. Clos a borné ses études sur ce sujet aux *Cleome* et aux *Polanisia*, sans pouvoir arriver à déterminer avec certitude la disposition des radicelles dans ces plantes. Pourtant il a constaté chez certains *Cleome* la disposition tétrastique (*loc. cit.*, 1848, p. 13).

Le *Capparis thyrsiflora* nous a permis aussi d'étudier à divers états la formation de plusieurs radicelles tardives. Ces radicelles naissent dans le cylindre central de la racine mère au même lieu que les radicelles précoces, c'est-à-dire dans le péricycle et vis-à-vis des faisceaux ligneux primaires, sur lesquels elles insèrent directement leurs vaisseaux. Mais, comme

elles apparaissent après la formation du liber et du bois secondaires en dedans des faisceaux libériens, des rayons secondaires en dehors des faisceaux ligneux, et surtout d'un périderme péricyclique tout autour, qui se subérifie en dehors et plus tard exfolie l'écorce, on comprend que le lieu et aussi que les phénomènes annexes de leur production soient un peu différents. Ce sont ici des cellules récemment formées en dehors de lui par l'arc générateur du rayon secondaire qui grandissent et se cloisonnent pour former la radicelle ; les cellules du parenchyme externe du rayon, celles du phelloderme, et peut-être aussi les cellules génératrices du périderme, s'accroissent en même temps autour de la radicelle pour l'envelopper d'une poche épaisse. Celle-ci digère d'abord les jeunes assises du liège encore peu subérifiées, puis dissocie mécaniquement les assises externes fortement subérifiées, surtout la plus externe de toutes qui a ses cellules très allongées radialement ; la radicelle paraît ainsi au dehors.

Les radicelles tardives ne naissent donc pas comme les précoces dans l'assise externe du péricycle, laquelle est consacrée à ce moment à un autre usage, mais plus profondément, notamment dans les cellules qui bordent en dehors l'arc générateur du rayon secondaire correspondant. Elles ont néanmoins une poche digestive, mais cette poche est aussi d'origine plus profonde que dans les radicelles précoces ; elle provient du péricycle et non de l'écorce ; en outre, elle est plus épaisse que dans les radicelles précoces. On voit qu'il faut bien se garder d'assimiler une pareille radicelle aux radicelles ordinaires, sous peine de ne plus apercevoir la loi qui régit la formation de celles-ci.

Fumariacées (pl. III, fig. 32-33). — La racine terminale des Fumariacées a la structure binaire et produit ses radicelles primaires en quatre séries longitudinales rapprochées deux par deux (1).

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XIII, p. 240, 1871).

Considérons d'abord un *Corydallis*, le *C. rosea*, par exemple, ou le *C. racemosa* (pl. III, fig. 32). Le cylindre central de la racine terminale se compose d'un péricycle simple, de deux faisceaux ligneux unisériés confluents au centre et de deux faisceaux libériens alternes, unis à la bande vasculaire diamétrale par deux assises de cellules conjonctives. Pour former une radicelle, un arc péricyclique situé entre un faisceau ligneux et un faisceau libérien, mais chevauchant plus ou moins sur le faisceau ligneux, accroît ses cellules et les cloisonne tangentiellement à deux reprises, pour séparer les trois régions de la radicelle avec l'épistèle, comme il a été dit pour les Crucifères et les Capparidées binaires. Le mamelon ainsi formé, dont la déviation est petite, digère d'abord l'endoderme, puis successivement toutes les assises corticales, pour paraître enfin au dehors. La radicelle est donc dépourvue de poche digestive. A sa sortie, l'épiderme, simple vers la base, s'est cloisonné tangentiellement deux fois vers le sommet. L'écorce, terminée par une initiale accompagnée d'un segment indivis de chaque côté (fig. 32), s'est cloisonnée deux fois vers la base, où commence à s'établir le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Enfin le cylindre central offre deux initiales au sommet.

Les choses se passent de même dans le *Cysticapnos africana*; les radicelles y sont également dépourvues de poche digestive (fig. 32).

Au contraire, dans les *Fumaria* (*F. capreolata*, *F. officinalis*) et dans l'*Adlumia cirrhosa*, l'endoderme garde ses cellules vivantes en dehors du mamelon radicellaire, les dilate, les cloisonne radialement et forme ainsi autour de la radicelle une poche digestive qui persiste jusqu'après sa sortie (fig. 33). Autour du sommet, cette poche divise même ordinairement plusieurs de ses cellules par une cloison tangentielle, quelquefois par deux cloisons tangentielles qui se succèdent de dehors en dedans, de manière à acquérir en ce point une double ou triple épaisseur (fig. 33). Sous cette poche, l'épiderme s'est cloisonné tangentiellement deux fois au moment de la sortie;

l'écorce, terminée par une seule initiale, s'est divisée deux ou trois fois à la base ; le cylindre central a aussi au sommet une seule grande initiale.

Les radicelles se forment donc chez les Fumariacées, comme chez les Crucifères et les Capparidées, tout entières dans le péricycle, mais tantôt sans poche, tantôt avec poche, comme chez les Capparidées. A cause de la petitesse ordinaire de la déviation, les quatre séries qu'elles forment sont fortement rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux (fig. 40). C'est ce qui explique que M. Clos ait attribué aux Fumariacées la disposition distique (*loc. cit.*, 1848, p. 12).

Papavéracées (pl. III, fig. 34). — La racine terminale des Papavéracées offre la structure binaire et produit ses radicelles primaires en quatre séries longitudinales rapprochées deux par deux.

Considérons en premier lieu le *Chelidonium grandiflorum*. Le cylindre central de la racine terminale de cette plante se compose d'un péricycle simple, de deux faisceaux ligneux unisériés confluents au centre et de deux faisceaux libériens séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux rangs de cellules conjonctives. Pour former une radicelle, un arc péricyclique situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux, qu'il dépasse plus ou moins de l'autre côté, accroît ses cellules et les cloisonne à deux reprises tangentiellement, suivant le mode connu. Le mamelon ainsi formé digère aussitôt l'endoderme, puis les assises corticales et la radicelle, complètement dépourvue de poche digestive, s'allonge enfin au dehors, en faisant avec le faisceau ligneux correspondant une déviation assez faible.

Il en est de même dans le *Glaucium flavum*, avec cette différence qu'ici l'endoderme suit d'abord la croissance du mamelon radicellaire, qui ne le résorbe que plus tard ; il y a donc une poche transitoire. Cette poche est définitive dans l'*Argemone mexicana* et dans les *Papaver* (*P. somniferum*, fig. 34, *Rhœas*, *Argemone*) ; l'arc d'endoderme situé en dehors

de l'arc rhizogène s'accroît, prend de nombreuses cloisons radiales et même au voisinage du sommet une cloison tangentielle, de manière à envelopper la radicelle jusqu'après sa sortie dans une poche digestive, double à son extrémité (fig. 34). Sous cette poche, l'épiderme et l'écorce de la radicelle demeurent assez longtemps indivis dans le *Papaver somniferum* (fig. 34).

Les Papavéracées forment donc leurs radicelles dans le péricycle comme les trois familles précédentes, mais tantôt sans poche, tantôt avec poche, comme chez les Capparidées et les Fumariacées. A cause de la petitesse ordinaire de la déviation, les quatre rangs de radicelles sont fortement rapprochés deux par deux du côté des faisceaux ligneux (fig. 40), circonstance qui a porté M. Clos à admettre dans cette famille, comme dans la précédente, la disposition distique (*loc. cit.*, 1848, p. 12).

Résédacees (pl. III, fig. 35-40). — Les Résédacées ont la racine terminale binaire et y disposent leurs radicelles primaires en quatre rangs rapprochés deux par deux.

Prenons pour premier exemple le *Caylusea abyssinica* (fig. 35 et fig. 36). La racine terminale a son écorce formée de quatre assises dont la dernière est l'endoderme ; son cylindre central se compose d'un péricycle simple, de deux faisceaux ligneux unisériés confluents au centre et de deux faisceaux libériens alternes, séparés de la bande vasculaire diamétrale par un ou deux rangs de cellules conjonctives. Pour former une radicelle, un arc péricyclique situé latéralement par rapport à l'un des faisceaux ligneux, mais dépassant ce faisceau de l'autre côté, accroît ses cellules et les divise par deux cloisons tangentielles successives pour séparer les trois régions avec l'épistèle (fig. 35). Le mamelon ainsi formé refoule un peu l'endoderme, puis le digère d'abord latéralement (fig. 35), enfin au sommet ; il résorbe ensuite progressivement les trois autres assises de l'écorce. La radicelle n'a donc pas de poche digestive (fig. 36) ; elle traverse l'écorce avec une déviation

faible. Au moment de sa sortie (fig. 36), l'épiderme, simple à la base, a pris au sommet une cloison tangentielle; l'écorce, terminée par une initiale entre deux segments indivis, a pris également une cloison tangentielle vers la base.

Les *Reseda* offrent dans leur racine terminale la même structure binaire et les radicelles s'y forment aussi dans un arc péricyclique qui chevauche plus ou moins sur le faisceau ligneux correspondant, ce qui leur donne une faible déviation. Mais on observe ici, entre les diverses espèces du genre, des différences secondaires analogues à celles que l'on a observées plus haut entre les divers *Polanisia*, les divers *Cleome*, etc. En effet, dans le *Reseda mediterranea* (fig. 37 et fig. 38), le mamelon radicellaire dissout immédiatement l'endoderme, plus rapidement encore que dans le *Caylusea* (fig. 37). La radicelle est donc dépourvue de poche et digère directement les cinq ou six assises corticales qu'elle doit traverser pour sortir (fig. 38). Dans les *Reseda odorata*, *luteola*, *cristallina*, au contraire, le mamelon radicellaire pousse devant lui l'endoderme dont les cellules demeurent vivantes, s'accroissent tangentiellement et se divisent par des cloisons radiales, de manière à envelopper la radicelle d'une poche digestive simple, qui persiste jusqu'après sa sortie (fig. 39); c'est cette poche qui attaque et dissout progressivement les diverses assises corticales. Au moment de la sortie, l'épiderme de la radicelle, entier dans sa moitié inférieure, s'est cloisonné deux fois au sommet (fig. 39) ; l'écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, ne s'est divisée qu'une fois à la base, où commence à s'opérer le raccord des deux endodermes par l'intermédiaire des cellules triplissées (fig. 39).

Les radicelles des Résédacées se constituent donc tout entières dans le péricycle de la racine mère, comme dans les Crucifères, les Capparidées, les Fumariacées et les Papavéracées ; mais tantôt elles sont nues et leur digestion est directe, tantôt elles sont enveloppées d'une poche digestive, différence que nous avons rencontrée déjà dans les trois dernières familles et que nous retrouverons dans plusieurs des familles

suivantes. Comme les arcs rhizogènes chevauchent sur le faisceau ligneux correspondant, la déviation des radicelles est assez faible et les quatre rangées qu'elles constituent sont rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux (fig. 40). C'est cette circonstance qui a trompé M. Clos et qui l'a porté à croire que chez les Résédacées la disposition des radicelles est distique (*loc. cit.*, 1848, p. 15).

Caryophyllées (pl. IV, fig. 40-45). — Comme celle des Crucifères, la racine terminale des Caryophyllées offre la structure binaire et dispose ses radicelles primaires en quatre séries, ordinairement rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux.

Entre l'assise pilifère et l'endoderme, l'écorce a le plus souvent trois assises de larges cellules, l'externe en alternance, les deux internes en superposition radiale avec l'endoderme; quelquefois elle n'a qu'une seule assise en alternance avec l'endoderme (*Gypsophila muralis*, pl. IV, fig. 45, *Polycarpæa Teneriffæ*, etc.). Sous un péricycle unisérié, le cylindre central possède deux faisceaux ligneux étroits, dont le vaisseau externe s'appuie contre une cloison péricyclique et qui confluent au centre en une bande diamétrale, avec deux faisceaux libériens étalés tangentiellement et séparés de la lame vasculaire par deux assises de cellules conjonctives (fig. 42 et 43). Le péricycle ayant sur son pourtour vingt-huit cellules, par exemple, dans le *Melandrium dioicum* (fig. 42), la radicelle en prend huit pour se former et ces huit cellules sont situées six d'un côté d'un faisceau ligneux, deux de l'autre. Elles s'allongent radialement, d'abord les médianes, puis les autres de proche en proche et de moins en moins; elles se divisent ensuite dans le même ordre d'abord par une cloison tangentielle, qui sépare en dedans le cylindre central, puis par une seconde cloison tangentielle extérieure à la première, qui isole l'écorce et l'épiderme (fig. 41 et 42). Cette seconde cloison respecte la cellule extrême de l'arc rhizogène, qui produit une épistèle peu développée. La jeune radicelle ainsi

constituée fait avec la lame vasculaire un angle qui est d'environ 25 degrés dans l'exemple cité plus haut, mais qui peut se réduire à 20 degrés ou atteindre 45 degrés et dont la valeur change non seulement d'un genre à l'autre, mais d'une espèce à l'autre dans le même genre. C'est aussi dans cette direction qu'elle s'accroît à travers l'écorce; mais sa croissance s'opère de deux manières différentes, suivant les genres.

Dane le *Lychnis inclusa* (fig. 41), par exemple, la radicelle digère tout d'abord les grandes cellules de l'endoderme situées en dehors d'elle, puis successivement les trois assises corticales suivantes, enfin l'assise pilifère; elle est donc dépourvue de poche et sa digestion est directe. Il en est de même dans les *Melandrium undulatum* (fig. 43), *dioicum* (fig. 42), *nocturnum*, dans l'*Agrostemma Githago*, dans les *Silene nocturna* et *integrifolia*, dans les *Tunica velutina* (fig. 44) et *prolifera*, dans les *Stellaria graminea* et *dubia*, dans les *Cerastium brachypetalam* et *chloræfolium*, etc.

Dans le *Gypsophila muralis* (fig. 45), au contraire, l'endoderme dilate ses cellules, qui perdent en même temps leurs plissements, et les divise çà et là par une cloison radiale, de manière à suivre la croissance de la radicelle et à l'envelopper d'une poche continue jusqu'après sa sortie; c'est alors cette poche qui digère le reste de l'écorce et l'assise pilifère. Il en est de même dans les *Saponaria porrigens* et *cerastioides*, le *Dianthus viscidus*, les *Vaccaria oxyodonta* et *grandiflora*, le *Spergula arvensis*, l'*Alsine laxiflora*, le *Polycarpæa Teneriffæ*, etc. Pour former la poche, les cellules de l'endoderme se bornent souvent à se dilater tangentiellement sans prendre de cloisons radiales (*Spergula arvensis*, etc.); la poche est alors aussi plus fugace, plus facilement digérée sur les flancs et au sommet, que dans le *Gypsophila muralis*.

A côté des Caryophyllées à radicelles dépourvues de poche digestive endodermique, il y a donc des Caryophyllées à radicelles munies d'une poche digestive endodermique; mais chez ces dernières, la poche est toujours très simple, parfois même rudimentaire et promptement digérée. Ces deux manières

d'être se rencontrent d'ailleurs, comme on l'a vu par les exemples cités plus haut, aussi bien dans la tribu des Silénées, que dans celle des Alsinées.

Qu'elle ait ou non une poche digestive, peu après sa sortie, la radicelle différencie, à la base de son cylindre central, deux faisceaux ligneux, situés en haut et en bas, qui s'attachent ensemble obliquement au bord extrême de la lame vasculaire, et deux faisceaux libériens, placés latéralement, qui s'insèrent sur les deux faisceaux libériens voisins, mais beaucoup plus largement d'un côté que de l'autre. Son écorce est terminée au sommet par deux (*Melandrium*, fig. 43, etc.), quatre (*Tunica*, fig. 44, etc.) ou cinq cellules simples (*Gypsophila*, fig. 45, etc.), dont une ou deux seulement sont des initiales, les autres des segments encore indivis. Elle offre à la base trois assises cellulaires (fig. 43). Son épiderme, simple tantôt dans la moitié de sa longueur (*Melandrium*, fig. 43, etc.), tantôt à sa base seulement (*Tunica*, fig. 44, etc.), a découpé plus haut deux calottes de calyptre; quelquefois ces deux calottes se dédoublent à leur tour vers le sommet (*Tunica velutina*, fig. 44, *Cerastium chloræfolium*, etc.).

Par ce qui précède, on voit que les radicelles primaires des Caryophyllées sont toujours insérées sur la racine terminale binaire en quatre rangées longitudinales. Lorsque la déviation est petite, ce qui est le cas le plus fréquent dans cette famille, ces quatre rangées sont rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux, de telle sorte que, vues du dehors, elles semblent ne former que deux séries. Quand la déviation est plus grande, les quatre rangées se distinguent facilement du dehors (*Melandrium dioicum*, fig. 42, *Tunica velutina*, fig. 44, *Silene gallica*, *Spergula nodosa*, etc.). C'est ce qui explique que M. Clos ait attribué aux Caryophyllées, le plus souvent deux, mais quelquefois aussi quatre séries de radicelles (*loc. cit.*, p. 16). Dans le cas le plus ordinaire, où la déviation est petite, si deux radicelles prennent naissance au même niveau dans deux séries voisines, elles se confondent nécessairement en une radicelle double, exactement insérée en face du faisceau

ligneux; sur les quatorze cellules qui le composent, par exemple, dans le *Melandrium undulatum*, où une radicelle simple prend onze cellules, sept d'un côté du faisceau ligneux et quatre de l'autre, l'arc rhizogène qui produit cette radicelle double en a huit communes aux deux radicelles.

Les radicelles primaires, secondaires, etc., partagent la structure binaire de la racine terminale, et la lame vasculaire y est toujours dirigée suivant l'axe de la racine mère. Leurs radicelles se produisent et se disposent aussi comme les radicelles primaires dans la racine terminale.

Les racines latérales qui naissent aux nœuds sur la tige des Caryophyllées, une de chaque côté du bourgeon, ont souvent aussi la structure binaire (*Saponaria officinalis*, etc.). Les radicelles primaires, secondaires, etc., disposées en quatre rangées, y prennent naissance comme celles de la racine terminale et se montrent aussi, suivant les genres, tantôt entièrement dépourvues de poche endodermique (*Tunica, Melandrium, Stellaria, Cerastium*, etc.), tantôt munies d'une poche endodermique rudimentaire, bientôt digérée au sommet (*Saponaria officinalis*, *Dianthus deltoides*, *Silene conica*, etc.).

Portulacées (pl. IV, fig. 46-50). — La racine terminale des Portulacées possède la structure binaire et produit ses radicelles en quatre rangées.

Entre l'assise pilifère et l'endoderme, l'écorce de la racine terminale des *Portulaca oleracea*, *retusa*, *rostellata*, par exemple, ne compte que deux assises de cellules séparées par des méats quadrangulaires, les internes superposées en nombre égal à celles de l'endoderme, les externes superposées deux par deux aux précédentes (pl. IV, fig. 46, 47 et 48). Sous un péricycle simple, le cylindre central a deux faisceaux ligneux confluents, unisériés, comprenant chacun trois vaisseaux dont l'externe annelé (fig. 46) s'appuie contre une cloison péricyclique, et deux faisceaux libériens séparés de la lame vasculaire par deux rangs de cellules conjonctives (fig. 47 et 48).

Pour former une radicelle, le péricycle comptant, par exemple, vingt-quatre cellules sur son pourtour, six de ces cellules sur la section transversale, situées cinq d'un côté d'un faisceau ligneux, une seule de l'autre côté, s'accroissent, entrent en cloisonnement tangentiel comme il a été dit pour les familles précédentes et dégagent le cylindre central, l'écorce et l'épiderme (fig. 46). Chacune des trois régions a au milieu une paire d'initiales; le cylindre central a de chaque côté deux cellules annexes; l'écorce et l'épiderme n'en ont qu'une, parce que la cellule extrême de l'arc rhizogène est demeurée indivise et constitue l'épistèle. La jeune radicelle se dirige dans l'écorce en faisant avec la lame vasculaire un angle d'environ 35 degrés (fig. 48), qui peut quelquefois atteindre 45 degrés si l'arc rhizogène ne chevauche pas du tout sur le faisceau ligneux (fig. 47). Elle digère d'abord l'endoderme (fig. 46), puis les deux rangs qui suivent (fig. 47) et enfin l'assise pilifère, pour s'échapper au dehors (fig. 48). Elle n'a donc pas de poche. Quelquefois l'endoderme et même l'assise sus-jacente se dilatent d'abord et suivent un peu la croissance du mamelon, mais cette extension est faible et la dissolution ne tarde pas à s'opérer.

A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné déjà trois fois tangentiellement; le premier cloisonnement ne laissant en dehors de lui que deux ou trois cellules à la base, la première calotte de calyptre enveloppe presque toute la racine (fig. 48). L'écorce est terminée par deux initiales ayant de chaque côté deux segments encore indivis et ces six cellules simples entourent toute l'extrémité du cylindre central (fig. 48); elle s'est cloisonnée deux fois et possède trois assises à la base, où son endoderme se raccorde avec celui de la racine mère par l'intermédiaire des cellules triplissées. Le cylindre central a au sommet une initiale accompagnée de chaque côté par deux segments indivis, au-dessous desquels se sépare le péricycle, qui se raccorde à la base avec celui de la racine mère.

La racine terminale du *Calandrinia micrantha* a, sous l'assise pilifère, quatre assises de cellules dont la plus interne est l'en-

doderme. La radicelle s'y développe de la même manière, tantôt chevauchant peu, d'une ou deux cellules seulement, sur le faisceau ligneux correspondant et offrant par conséquent une assez forte déviation (fig. 49), tantôt dépassant davantage le faisceau ligneux et présentant une déviation plus faible. Elle digère aussi d'abord l'endoderme, puis toute l'écorce. A la sortie, son épiderme a pris quatre cloisons tangentielles; la première cloison n'intéressant pas bon nombre des cellules inférieures, l'épiderme demeure simple sur les flancs (fig. 49). L'écorce, terminée par deux initiales avec un seul segment indivis de chaque côté, s'est cloisonnée deux fois et raccorde en bas son endoderme avec celui de la racine mère. Dans le cylindre central, le péricycle est distinct jusque près du sommet et se raccorde à la base avec celui de la racine mère. Les radicelles se forment quelquefois deux par deux au même niveau et en face l'une de l'autre (fig. 50); le diamètre qui est leur axe commun coupe alors la bande vasculaire sous l'angle de déviation. Ailleurs, elles naissent deux ensemble au même niveau de chaque côté du même faisceau ligneux, et se fusionnent en une radicelle double.

Sous tous les rapports essentiels, le *Monocosmia corrigioloides* se comporte comme les plantes des deux genres précédents; pourtant l'endoderme y dilate parfois ses cellules autour de la radicelle et forme ainsi une poche rudimentaire, digérée au sommet bien avant la sortie.

Partout aussi les radicelles secondaires naissent dans les primaires, les tertiaires dans les secondaires, etc., absolument comme les radicelles primaires dans la racine terminale.

M. Clos a conservé des doutes sur la disposition des radicelles primaires dans cette famille. Il y a bien reconnu la disposition quadrisériée (*Portulaca tuberosa*, *oleracea*, etc.), mais y a admis aussi la disposition bisériée (*Talinum*, *Calandrinia*) (*loc. cit.*, 1848, p. 16). Cela tient à ce que la déviation est, en effet, plus forte dans les *Portulaca*, plus faible dans les *Calandrinia*.

Comme celles des Crucifères, les radicelles des Portula-

cées se forment donc tout entières dans le péricycle et, pour s'accroître, digèrent toute l'écorce y compris l'endoderme.

Illécébrées (pl. V, fig. 51). — La racine terminale des Illécébrées a la structure binaire et dispose ses radicelles en quatre rangs, souvent rapprochés deux par deux en face des faisceaux ligneux.

Sous l'assise pilifère, l'écorce de la racine terminale des *Scleranthus spergulæfolius*, *perennis*, *laricifolius*, compte quatre assises, dont l'interne est l'endoderme (pl. V, fig. 51). Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux unisériés confluents et deux faisceaux libériens séparés de la lame vasculaire par deux rangs de cellules conjonctives. Pour former une radicelle, un arc de cellules péricycliques comprenant par exemple sept cellules, dont six d'un côté d'un faisceau ligneux, une seule de l'autre côté, s'accroît radialement et se cloisonne tangentiellement à deux reprises, comme il a été dit, de manière à séparer les trois régions et l'épistèle. La jeune radicelle se dirige donc à travers l'écorce avec une déviation d'environ 40 degrés. Elle digère d'abord l'endoderme, puis progressivement toutes les autres assises corticales, enfin l'assise pilifère. A la sortie (fig. 51), son épiderme a pris deux cloisons tangentielles; la première commence près de la base, ne laissant indivises que deux ou trois cellules épidermiques, de façon que la première calotte de calyptre enveloppe presque toute la radicelle. L'écorce est terminée par une initiale, accompagnée de chaque côté par deux ou trois segments encore indivis, le tout formant une assise de cinq ou sept cellules qui entoure toute l'extrémité du cylindre central; plus bas seulement, elle s'est cloisonnée en deux assises; enfin tout à la base, elle commence à raccorder son endoderme avec celui de la racine mère par l'intermédiaire des cellules triplissées. Le cylindre central a au sommet une initiale avec deux segments indivis, à partir desquels le péricycle est distinct.

La racine terminale du *Paronychia serpyllifolia* et celle de

l'*Herniaria incana* produisent leurs radicelles de la même manière. Dans cette dernière plante, dont les poils radicaux sont élargis en cône à la base, il arrive assez fréquemment que la radicelle, à peine sortie de la racine mère, cesse de s'allonger, perd les deux ou trois calottes de sa calyptre et prolonge en poils absorbants toutes les cellules de son extrémité ainsi mises à nu. La racine porte alors deux sortes de poils, les uns disséminés sur toute la surface, qui lui appartiennent en propre, les autres ramassés çà et là en grand nombre sur de courts moignons, qui sont secondaires par rapport aux premiers et appartiennent à des radicelles avortées.

La déviation des radicelles étant souvent assez faible, on comprend que M. Clos ait admis que « la disposition distique est la plus fréquente dans cette famille ». Il a pourtant reconnu nettement la disposition quadrisériée, notamment dans les *Paronychia*, *Scleranthus*, *Læflingia*, etc. (*loc. cit.*, p. 15).

Les radicelles des Illécébrées naissent donc tout entières dans le péricycle et, pour sortir, digèrent toute l'écorce y compris l'endoderme.

Crassulacées (pl. V, fig. 52). — Les Crassulacées ont leur racine terminale binaire, produisant ses radicelles en quatre rangées.

La racine terminale du *Sedum acre* ou du *S. Maximowiczii*, par exemple, a sous l'assise pilifère une écorce de trois ou quatre assises dont l'interne est l'endoderme (fig. 52). Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux unisériés confluents et deux faisceaux libériens alternes. Pour former une radicelle, un arc de cellules péricycliques, situé latéralement par rapport au vaisseau le plus externe d'un faisceau ligneux, s'accroît radialement et se cloisonne tangentiellement deux fois, comme dans les familles précédentes. Le mamelon radicellaire ainsi produit se dirige obliquement dans l'écorce en fléchissant légèrement vers l'intérieur le faisceau ligneux et le faisceau libérien sur lesquels il s'appuie ; il digère d'abord l'endoderme, puis les autres assises corticales et enfin

l'assise pilifère. A sa sortie (fig. 52), son épiderme a pris deux cloisons tangentielles autour de l'extrémité, tandis que son écorce, aplatie au sommet et terminée par une initiale accompagnée de deux segments encore entiers, s'est divisée en deux assises sur les flancs.

La racine terminale de l'*Umbilicus Semenowii* et celle du *Tillæa muscosa* produisent leurs radicelles de la même manière.

M. Clos a vainement cherché à arriver à quelque chose de précis au sujet de la disposition des radicelles primaires sur la racine terminale des Crassulacées. Il y a admis quelquefois quatre rangées de radicelles (*Sedum stellatum*, etc.), le plus souvent deux (*loc. cit.*, p. 25). La chose s'explique, ici comme dans tous les cas de ce genre, par la fréquente petitesse de la déviation. Partout la disposition est quadrisériée.

Une racine adventive de *Bryophyllum calycinum*, provenant de bouture, nous a montré dans son cylindre central quatre faisceaux ligneux et quatre faisceaux libériens alternes. Les radicelles y naissent en quatre rangs vis-à-vis des faisceaux ligneux. Pour en produire une, un arc de cellules péricycliques assez large et ayant son milieu exactement sur le vaisseau le plus externe, s'accroît radialement et se cloisonne tangentiellement à deux reprises, de manière à séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. La jeune radicelle digère d'abord l'endoderme, puis toute l'épaisseur de l'écorce pour s'échapper au dehors. L'épiderme y demeure longtemps entier; bien après la sortie, il n'a découpé encore qu'une seule calotte de calyptre, au-dessous de laquelle sa région indivise compte une vingtaine de cellules. L'écorce, terminée par deux initiales, s'est cloisonnée six ou sept fois sur les flancs.

Qu'il s'agisse donc de la racine terminale ou d'une racine adventive, d'une racine à structure binaire avec disposition diplostique, ou d'une racine de type supérieur à deux avec disposition isostique, les radicelles des Crassulacées naissent tout entières dans le péricycle et pour sortir digèrent toute l'écorce y compris l'endoderme.

Aizoacées (pl. V, fig. 53). — La racine terminale des Aizoacées a la structure binaire et produit ses radicelles en quatre rangs.

Sous l'assise pilifère, la racine terminale du *Mesembrianthemum cristallinum* et du *M. echinatum* n'a d'ordinaire que deux assises corticales dont l'interne est l'endoderme (fig. 53). Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux unisériés confluents, réduits ordinairement à deux vaisseaux chacun, et deux faisceaux libériens alternes. La radicelle procède du cloisonnement suivant le mode connu d'un arc de cellules péricycliques situé latéralement par rapport à l'un des faisceaux ligneux, qu'elle comprime et rend faiblement concave en dehors (fig. 53). Elle se dirige donc dans l'écorce avec une déviation assez forte, et digère d'abord l'endoderme, puis l'assise corticale externe, enfin l'assise pilifère. C'est seulement au moment de la sortie que son épiderme, entier jusque-là (fig. 53), se cloisonne tangentiellement au sommet pour former une calotte de calyptre, et que l'écorce, indivise jusqu'alors, se cloisonne en deux sur les flancs.

Il en est de même dans le *Trianthema monogyna*, à cette seule différence près que l'écorce de la racine terminale a quatre assises cellulaires, dont l'interne est l'endoderme.

Dans les *Tetragonia expansa* et *echinata*, au contraire, la radicelle pousse devant elle l'endoderme de la racine terminale, dont les cellules s'accroissent et se cloisonnent radialement pour suivre sa croissance ; elle demeure ainsi jusqu'après sa sortie enveloppée d'une poche endodermique simple, et c'est par l'intermédiaire de cette poche qu'elle digère toutes les autres assises corticales et finalement l'assise pilifère. Sous ce rapport, comme sous plusieurs autres d'ailleurs, les *Tetragonia* s'éloignent donc à la fois des *Mesembrianthemum*, types de la tribu des Mésembrianthémées dans laquelle les classent MM. Bentham et Hooker, et des *Trianthema*, qui appartiennent à la tribu des Aizoées. C'est un argument de plus en faveur de la séparation de ces plantes, sous le nom de Tétragoniées, soit qu'on les regarde simplement comme une tribu

dans la famille des Aizoacées, soit qu'on en fasse une famille distincte.

M. Clos a bien aperçu la disposition quadrisériée des radicelles primaires dans plusieurs espèces de *Mesembrianthemum* (*M. violaceum*, etc.); tandis que chez d'autres (*M. nodiflorum*, etc.), il l'a méconnue en admettant l'arrangement distique, sans doute parce que la déviation y est moins forte (*loc. cit.*, p. 25). C'est également à tort que ce botaniste a atribué plus tard la disposition bisériée aux radicelles du *Trianthema* (*loc. cit.*, 1852, p. 17).

Amarantacées (pl. V, fig. 54-55). — La racine terminale des Amarantacées possède la structure binaire et produit ses radicelles en quatre séries.

Les *Amarantus paniculatus*, *hybridus*, *chlorostachys*, *speciosus*, *atropurpureus*, par exemple, ont dans le cylindre central de leur racine terminale un péricycle simple, deux faisceaux ligneux unisériés confluents et deux faisceaux libériens alternes. Pour former une radicelle, un arc de cellules péricycliques, situé latéralement par rapport à l'un des faisceaux ligneux, s'accroît radialement, et par deux cloisonnements tangentiels successifs, isole, comme dans les familles précédentes, les trois régions de la radicelle avec leurs initiales au milieu (fig. 54). En se dirigeant obliquement dans l'écorce, la jeune radicelle pousse d'abord, en les aplatissant, les cellules endodermiques en regard (fig. 54); mais bientôt celles-ci cessent de se dilater, s'amincissent et disparaissent (fig. 55). La radicelle digère alors la seconde assise corticale, puis la troisième, et en dernier lieu l'assise pilifère. Elle n'a donc pas de poche, ou n'en a qu'à son tout premier état. Un peu avant la sortie (fig. 55), son épiderme a pris deux cloisons tangentielles, qui le rendent triple au sommet. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée en deux assises sur les flancs et commence à raccorder à la base son endoderme avec celui de la racine mère par les cellules triplissées.

Les choses se passent de la même manière dans les *Euxolus deflexus*, *Amblogyne mollis*, *Aerva lanata*. Dans les *Celosia argentea*, *Gomphrena globosa*, *Frœlichia floridana*, *Achyranthes argentea*, l'endoderme accompagne le mamelon radicellaire un peu plus longtemps; il n'est digéré au sommet que vers le milieu ou les deux tiers du passage à travers l'écorce. Enfin dans le *Pupalia atropurpurea* et dans le *Scleropus amarantoides*, la poche endodermique persiste autour de la radicelle jusqu'après sa sortie (fig. 57). On observe donc ici, entre les genres de la même famille, des différences analogues à celles qu'on a rencontrées déjà chez les Caryophyllées. Les états extrêmes y sont même reliés par un plus grand nombre d'intermédiaires. Ces intermédiaires peuvent se montrer dans les diverses espèces d'un même genre; ainsi dans les *Amarantus speciosus* et *paniculatus*, la poche endodermique persiste un peu plus longtemps, est digérée un peu plus tard que dans les *A. chlorostachys* et *atropurpureus*. On peut en observer aussi dans les diverses radicelles d'un même pivot, l'endoderme étant digéré ici un peu plus tôt, là un peu plus tard.

M. Clos a bien reconnu la disposition tétrastique des radicelles dans certaines Amarantacées; mais il s'est trompé en attribuant à d'autres la disposition distique (*Celosia*, etc.) (*loc. cit.*, p. 13). Partout dans cette famille les radicelles sont en quatre séries; mais ces séries sont quelquefois assez rapprochées deux par deux pour faire illusion.

Chénopodiacées (pl. V, fig. 56-58). — La racine terminale des Chénopodiacées possède la structure binaire (1) et produit ses radicelles en quatre rangées.

Les *Chenopodium album*, *Quinoa*, *nitrariaceum*, par exemple, ont dans le cylindre central de leur racine terminale un péricycle simple, deux faisceaux ligneux unisériés confluents et deux faisceaux libériens alternes. Pour former une radicelle,

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XIII, p. 234, 1871).

un arc de cellules péricycliques comprenant, par exemple, sur la section transversale onze cellules, dont neuf situées à droite d'un faisceau ligneux et deux seulement à gauche (fig. 57), entre en croissance et se cloisonne tangentiellement deux fois, comme il a été dit plus haut. Le mamelon radicellaire ainsi constitué se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 40 degrés; il digère d'abord l'endoderme, puis successivement les trois ou quatre assises corticales externes, enfin l'assise pilifère (fig. 56). Au moment de la sortie (fig. 56), l'épiderme de la radicelle a pris deux cloisons tangentielles et produit deux calottes de calyptre, dont la première ne laisse au-dessous d'elle qu'une seule cellule épidermique indivise. Son écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est dédoublée sur les flancs et commence à raccorder son endoderme avec celui de la racine mère par les cellules triplissées.

Les choses se passent de la même manière dans les *Blitum capitatum*, *Ambryna Botrys*, *Roubieva multifida*. Dans le *Beta maritima* et le *Kochia eriophora*, les cellules endodermiques situées vis-à-vis du mamelon péricyclique se dilatent en conservant leurs plissements échelonnés et enveloppent la radicelle jusque vers le milieu de l'épaisseur de l'écorce; ensuite elles s'affaissent et sont digérées. Dans le *Salsola Tragus* et l'*Acnida cannabina*, la poche, formée par deux ou trois cellules endodermiques fortement dilatées tangentiellement, mais dépourvues de cloisons radiales, accompagne la radicelle jusqu'à sa sortie. Enfin dans les *Atriplex tatarica* (fig. 57) et *nitens*, les *Corispermum nitidum*, *intermedium* et *Marshallii*, les *Obione pedunculata* et *verrucifera*, l'*Axyris amarantoides*, l'*Arthrocnemum polystachyum* (fig. 58), l'endoderme de la racine terminale, non seulement accompagne la radicelle jusqu'après sa sortie, mais encore cloisonne radialement ses cellules et les nouvelles cloisons prennent, comme les anciennes, des plissements échelonnés. La poche digestive persiste donc ici plus longtemps; peu après la sortie, cependant, elle désagrège ses cellules au sommet et disparaît pour mettre la radi-

celle à nu. Sous cette poche, l'épiderme de la radicelle, tantôt se cloisonne deux fois avant la sortie (*Arthrocnemum*, fig. 56), tantôt n'a pris encore qu'une seule cloison tangentielle après la sortie (*Atriplex*, fig. 57).

Par l'absence de poche digestive dans certains genres, par sa présence dans d'autres et par la série des états intermédiaires, les Chénopodiacées se comportent donc tout à fait comme les Amarantacées : preuve nouvelle de l'affinité de ces deux familles et de la convenance qu'il y a à les réunir en une seule (1).

M. Clos a observé tantôt deux, tantôt trois, tantôt quatre rangées de radicelles sur le pivot des Chénopodiacées et en a conclu qu'il n'y a pas de type dans cette famille (*loc. cit.*, p. 17). En réalité, il y a toujours quatre séries de radicelles; si la déviation est grande (*Atriplex*, *Chenopodium*, etc.), les quatre rangées apparaissent nettement au dehors; si elle est petite (*Beta*, *Kochia*, etc.), elles sont rapprochées deux par deux, et il semble de l'extérieur qu'il n'y en ait que deux.

Basellées (pl. V, fig. 59-60). — La racine terminale des Basellées a la structure quaternaire et produit ses radicelles en face de ses faisceaux ligneux, en quatre rangées équidistantes, par conséquent, dont deux correspondent aux deux cotylédons.

Dans le *Basella rubra*, par exemple, l'écorce de la racine terminale a, sous l'assise pilifère, trois assises de cellules dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central contient, sous un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux unisériés, qui confluent au centre en forme de croix, et quatre faisceaux libériens alternes, séparés de la croix ligneuse par deux rangs de cellules conjonctives. Plus tard, le rang conjonctif externe se cloisonne pour donner, comme de règle, du liber secondaire en dehors et du bois secondaire en dedans; le rang interne s'accroît aussi radialement et se cloisonne à son

(1) Ph. Van Tieghem, *Traité de botanique*, p. 1405.

tour pour produire une couche de parenchyme, et dans cette couche un paquet de liber au bord interne de chacun des quatre faisceaux libéroligneux secondaires. La racine de cette plante possède donc, tout aussi bien que sa tige (1), du liber interne formé dès le début de la période secondaire.

La structure quaternaire de la racine terminale et son liber interne s'ajoutent ainsi aux autres caractères déjà connus pour éloigner les Basellées des Chénopodiacées, auxquelles Endlicher et plus récemment MM. Bentham et Hooker les ont incorporées. Pourtant, sous le rapport de la formation des radicelles, ces plantes ressemblent aux Chénopodiacées.

Dans la racine terminale du *Basella rubra*, un arc de cellules péricycliques, composé par exemple de huit cellules sur la section transversale, situées quatre à droite et quatre à gauche du vaisseau le plus étroit d'un faisceau ligneux, s'accroît radialement et, par deux cloisonnements tangentiels successifs, isole comme d'ordinaire d'abord le cylindre central, puis l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle. Le mamelon ainsi constitué pose donc le centre de sa base sur le vaisseau annelé le plus externe, qu'il infléchit légèrement en dedans (fig. 59 et 60). Il refoule d'abord l'endoderme, mais ne tarde pas à le digérer du sommet à la base (fig. 60) ; il attaque ensuite les autres assises corticales et enfin l'assise pilifère.

Une racine adventive de *Boussingaultia baselloides* a dans son cylindre central, sous un péricycle simple, cinq ou six faisceaux ligneux non confluents et autant de faisceaux libériens alternes. La radicelle s'y forme en face d'un faisceau ligneux, comme il vient d'être dit pour la racine terminale du *Basella rubra*. Elle digère aussi de bonne heure l'endoderme et dissout ensuite le reste de l'écorce.

L'absence de poche digestive semble donc bien un caractère commun aux Basellées et ce caractère rapproche ces plantes des Chénopodiacées.

(1) Morot, *Note sur l'anatomie des Basellacées* (*Bull. de la Soc. bot.*, XXXI, p. 104, 22 février 1884).

Cactées (pl. VI, fig. 61). — La racine terminale des *Opuntia* a la structure quaternaire et produit ses radicelles primaires en quatre rangées équidistantes, suivant le mode isostique.

Dans l'*O. flavicans*, par exemple, la racine terminale a neuf assises de cellules entre l'assise pilifère et l'endoderme pourvu de mâcles d'oxalate de chaux; c'est dans l'assise corticale externe, sous l'assise pilifère, que se développe plus tard le périderme. Son cylindre central se compose d'un péricycle simple, de quatre faisceaux ligneux unisériés, laissant entre eux au centre une moelle formée de cellules annelées, et de quatre faisceaux libériens alternes (1). Pour former une radicelle, un arc péricyclique dont le milieu s'appuie sur le vaisseau externe d'un faisceau ligneux, accroît ses cellules et les cloisonne deux fois tangentiellement, de manière à dégager les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. Le mamelon ainsi constitué dissout d'abord l'endoderme, y compris les mâcles qu'il renferme, ce qui prouve que le suc digestif émis a une acidité très prononcée. Il digère ensuite progressivement les assises corticales et paraît enfin au dehors. La radicelle se forme donc tout entière dans le péricycle et sans poche.

Les choses se passent de la même manière pour les radicelles primaires qui prennent naissance sur les racines latérales adventives des *Opuntia* (*O. monacantha*, pl. VI, fig. 61), *Cereus* (*C. tortuosus*), *Phyllocactus* (*Ph. coccineus*), avec cette différence que le péricycle de ces racines latérales comprend ordinairement deux (*Opuntia monacantha*, *Cereus tortuosus*) ou trois assises (*Phyllocactus coccineus*), que le nombre des faisceaux ligneux et libériens y est souvent supérieur à quatre, pouvant s'élever à sept, neuf, et jusqu'à quinze et dix-sept, ce qui entraîne la disposition des radicelles sur tout autant de rangées (2).

(1) Voy. Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 252, 1871), et *Valeur morphologique des cellules annelées et spiralées des Cactées* (*Bull. de la Soc. bot.*, 12 mars 1885).

(2) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XIII, p. 252, 1871).

Dans l'arc rhizogène, c'est alors l'assise externe qui produit à la fois l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central de la radicelle; la seconde assise ou les deux assises internes s'il y en a trois contribuent seulement à produire la base du cylindre central. Dans tous les cas, la radicelle digère d'abord l'endoderme à larges cellules qui la recouvre (fig. 61), puis résorbe l'écorce pour paraître au dehors; elle est dépourvue de poche digestive. Et cela tout aussi bien si l'écorce compte entre l'endoderme et l'assise pilifère six à huit rangs de cellules superposées (*Opuntia monacantha*, fig. 61, etc.) que si elle ne possède que deux assises (*Phyllocactus coccineus*). Dès avant la sortie de la radicelle, son épiderme s'est cloisonné au sommet trois ou quatre fois pour séparer autant de calottes de coiffe; son écorce, terminée par une initiale avec deux segments encore entiers, s'est de même divisée trois ou quatre fois à la base, où le raccord des endodermes commence à se faire par les cellules triplissées (fig. 61) (1).

Les Cactées forment donc leurs radicelles dans le péricycle et sans intervention d'une poche digestive endodermique. Par ce caractère, elles se rattachent aux familles précédentes, notamment à celles que nous avons étudiées à la suite des

(1) Toutes les fois qu'il y a eu lieu, nous avons comparé la structure du sommet de la radicelle, observée par nous aux diverses phases de son parcours à travers l'écorce de la racine mère et notamment à l'instant de la sortie, à la structure attribuée à l'extrémité de la racine mère développée ou de la racine terminale de l'embryon de la même plante par les auteurs qui ont fait sur ce sujet les études comparatives les plus étendues, c'est-à-dire, pour les Dicotylédones, par M. Eriksson [*Ueber das Urmeristem der Dicotylenwurzel* (*Jahrbücher für wiss. Botanik*, XI, p. 380, 1877)], et par M. Flahault [*Recherches sur l'accroissement terminal de la racine chez les Phanérogames* (*Ann. des sc. nat.*, 6e série, t. VI, p. 1, 1878)]. S'il y a concordance, nous n'en dirons rien. S'il y a discordance, nous signalerons chaque fois et préciserons le désaccord, afin de mettre chacun en mesure de décider la question. C'est ici pour la première fois qu'une pareille divergence de vues se manifeste. M. Flahault attribue, en effet (*loc. cit.*, p. 129), à l'écorce de la racine terminale embryonnaire de l'*Opuntia echinocarpa* deux ou trois assises d'initiales. On voit que, dans les radicelles de ces plantes, il n'y a qu'une seule assise de cellules au sommet de l'écorce et que dans cette assise la cellule médiane seule est une initiale.

Caryophyllées, en particulier aux Aizoacées et aux Crassulacées. Ainsi se trouvent confirmées, par une voie toute différente, les affinités, signalées par les anciens auteurs (Endlicher, Brongniart, Decaisne, etc.), des Cactées avec les Mésembrianthémées et les Crassulacées.

Bégoniées (pl. VI, fig. 62). — Les *Begonia* ont leur racine terminale binaire et leurs radicelles insérées en quatre séries rapprochées deux par deux.

Dans le *Begonia oblongifolia*, par exemple, la racine terminale a sous l'assise pilifère trois assises de grandes cellules corticales, dont la dernière, qui est l'endoderme, a ses plissements localisés au bord interne des cloisons radiales. Le cylindre central, qui est très étroit, a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux très courts comptant chacun ordinairement deux vaisseaux, unis au centre en une petite lame diamétrale, et deux faisceaux libériens alternes, séparés de la bande vasculaire par un rang conjonctif. L'arc péricyclique rhizogène comprend trois cellules situées, soit toutes les trois du même côté d'un faisceau ligneux, soit deux d'un côté, une de l'autre; dans le premier cas, la déviation de la radicelle est plus grande que dans le second. Ces cellules se cloisonnent deux fois tangentiellement, suivant la règle ordinaire, pour constituer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. Le mamelon ainsi formé digère aussitôt l'endoderme, puis les autres assises corticales et enfin l'assise pilifère. Il n'y a donc pas de poche digestive.

Une racine latérale de *Begonia argyrostigma* a dans son écorce, sous l'assise pilifère, neuf assises cellulaires dont la dernière est l'endoderme pourvu de plissements étroits au bord interne des cloisons radiales. Le cylindre central a quatre faisceaux ligneux unisériés, formés chacun de trois ou quatre petits vaisseaux et séparés au centre par une moelle à petites cellules, quatre faisceaux libériens alternes et un péricycle comprenant cinq assises en dehors des faisceaux ligneux, deux à quatre en face des faisceaux libériens; l'assise externe du

péricycle est formée de cellules beaucoup plus grandes que les autres. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond exactement à un faisceau ligneux, accroît surtout son assise externe, qui prend deux cloisons tangentielles successives pour séparer les trois régions avec leurs initiales et qui donne, par conséquent, toute la radicelle; les quatre autres assises ne produisent que la base du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé dilate d'abord ses cellules et forme au premier moment une poche digestive simple autour du mamelon; mais bientôt les cellules se vident, deviennent flasques et se dissolvent, d'abord au sommet, puis latéralement et vers la base, de sorte que la poche est de bonne heure digérée. La radicelle continue ensuite sa croissance à travers l'écorce pour s'échapper au dehors.

Par l'absence totale de poche dans les radicelles issues de la racine terminale, par la prompte dislocation et résorption de la poche dans les radicelles issues des racines latérales, les *Begonia* se rattachent bien au groupe de familles que nous venons d'étudier et notamment aux Cactées. On peut voir dans ce fait une confirmation des affinités des Bégoniées avec les Cactées signalées par divers auteurs.

2. — Radicelles à poche digestive, ne résorbant de la racine mère que la partie extérieure à la poche.

Les quinze familles précédentes mises à part, chez toutes les autres Dicotylédones étudiées par nous l'arc d'endoderme de la racine mère situé en dehors de l'arc rhizogène péricyclique repasse en même temps que ce dernier à l'état de méristème, agrandit ses cellules et les cloisonne, tout au moins radialement, de manière à envelopper la radicelle d'une poche digestive. Cette poche est mince et simple dans toute son étendue, si l'endoderme ne prend pas de cloisons tangentielles et demeure formé d'une seule assise. Elle est mince et simple à la base, mais de plus en plus épaisse et composée d'un nombre

d'assises cellulaires de plus en plus grand vers le sommet, si l'endoderme se divise progressivement de bas en haut par des cloisons tangentielles. Elle est épaisse dès la base, si l'endoderme s'est cloisonné dans toute son étendue. Elle est plus épaisse encore et plus compliquée, quand une ou plusieurs des assises corticales internes se comportent comme l'endoderme et s'y surajoutent. Plus tard, cette poche est détachée à la base et la radicelle en emporte avec elle au dehors le bonnet supérieur, qui s'exfolie en une fois s'il est simple, en une ou plusieurs fois s'il est composé, pour mettre bientôt à nu la surface propre de la radicelle. Ce détachement a lieu de deux manières différentes. Tantôt le manchon inférieur de la poche est digéré par l'épistèle et par l'épiderme de la radicelle dans une plus ou moins grande hauteur, et par là la poche se trouve réduite à un bonnet plus ou moins allongé dont le bord est libre. Tantôt le manchon inférieur persiste indéfiniment et fait corps avec la radicelle autour de l'épistèle; à une certaine hauteur, le développement diamétral de la région supérieure de l'épistèle ou de la région inférieure de l'écorce repousse en dehors les cellules supérieures de la poche, qui glissent sur les cellules inférieures; le bonnet se trouve ainsi détaché de son anneau basilaire, dans le prolongement duquel l'assise périphérique de la région supérieure de l'épistèle ou l'épiderme de la radicelle vient poser ses cellules.

Une poche digestive plus ou moins épaisse, à base tantôt digérée, tantôt incorporée : tel est donc le phénomène accessoire que nous aurons à décrire chaque fois après avoir expliqué comment se passe le phénomène essentiel, qui est la production de la radicelle dans le péricycle. Ce phénomène accessoire n'est pas nouveau ; nous l'avons déjà rencontré à l'état d'exception plus ou moins fréquente dans plusieurs des familles précédentes; mais désormais il devient la règle, et cette règle une fois établie ne souffre plus d'exceptions.

Pour rendre ce travail comparatif aussi complet que possible, nous allons étudier la formation des radicelles à poche dans les principales familles de la classe des Dicotylédones, en

les disposant dans l'ordre ascendant du perfectionnement floral, c'est-à-dire en considérant d'abord les Apétales supérovariées et inférovariées, puis les Dialypétales supérovariées et inférovariées, enfin les Gamopétales supérovariées et inférovariées. Dans chacune de ces divisions, nous disposerons les familles suivant l'ordre adopté dans le *Traité de botanique* publié par l'un de nous (1).

I. — APÉTALES SUPÉROVARIÉES.

Urticées (pl. VI, fig. 63 et 64). — La racine terminale des Urticées a la structure binaire et produit ses radicelles primaires en quatre rangées rapprochées deux par deux.

Prenons pour exemple un *Urtica*, l'*U. dioica* ou l'*U. Dodartii*. La racine terminale de ces plantes a, sous l'assise pilifère, quatre assises de cellules corticales et un endoderme formé de grandes cellules à parois minces munies de plissements bien marqués. Le cylindre central se compose d'un péricycle simple comprenant environ trente-six cellules sur la section transversale, de deux faisceaux ligneux unis au centre en une bande diamétrale et de deux faisceaux libériens étalés tangentiellement et séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux ou trois rangs de cellules conjonctives. Pour former une radicelle (fig. 63), cinq à sept cellules péricycliques entrent en jeu sur la section transversale. S'il y en a cinq (fig. 63), elles sont situées, par exemple, quatre d'un côté du faisceau ligneux, une de l'autre côté; s'il y en a sept (fig. 64), elles sont disposées, par exemple, cinq d'un côté, deux de l'autre. L'arc rhizogène chevauche donc sur le faisceau ligneux. Il en résulte que la déviation de la radicelle est petite, d'environ 25 degrés seulement, que les quatre séries de radicelles, fortement rapprochées du côté des faisceaux ligneux, paraissent du dehors ne former que deux rangées, et

(1) Ph. Van Tieghem, *Traité de botanique*, 1884, et *Eléments de botanique*, 1887.

que, si deux radicelles prennent naissance au même niveau sur deux séries voisines, elles se fusionnent nécessairement en une radicelle double, située exactement en face d'un faisceau ligneux. L'arc péricyclique ainsi disposé accroît radialement ses cellules et les dédouble par deux cloisonnements tangentiels, dont le premier dégage vers l'intérieur le cylindre central, dont le second, extérieur au premier, sépare l'écorce en dedans et l'épiderme en dehors, laissant l'épistèle en bas (fig. 63).

En même temps, les cellules endodermiques superposées, au nombre de quatre ou cinq sur la section transversale de la racine mère, se remplissent de protoplasme, se dilatent pour suivre la protubérance et se divisent par des cloisons radiales; rares et écartées dans les cellules de base, celles-ci sont nombreuses et rapprochées dans celles du sommet; il se fait ainsi une poche simple autour de la radicelle. C'est cette poche qui sécrète le liquide diastasique et qui attaque d'abord la pénultième assise corticale, puis l'antépénultième et ainsi de suite, enfin l'assise pilifère, ce qui amène le sommet au dehors. Avant ce moment, les cellules basilaires de la poche ont été vidées, dissoutes et digérées, de sorte que c'est maintenant un bonnet à bord libre et à cellules déjà un peu dissociées que la radicelle pousse devant elle au dehors et qui ne tarde pas à s'exfolier. En un mot, la poche digestive des *Urtica* est simple et à base digérée.

Un peu avant la sortie, l'épiderme a pris trois cloisons tangentielles, et découpé ainsi trois futures calottes de calyptre; la première et la plus externe de ces cloisons commence très près de la base, de sorte que l'épiderme ne compte guère que deux cellules entières. L'écorce est terminée au sommet par une ou deux initiales, qui, en cloisonnant deux fois leurs segments, ont formé à la base trois assises cellulaires; la plus interne commence à se raccorder avec l'endoderme de la racine mère par les cellules triplissées (1). Après sa sortie, la

(1) M. Flahault (*loc. cit.*, p. 126) attribue à la racine terminale de l'*Urtica*

radicelle s'élargit encore sensiblement en dilatant ses cellules et digère encore un peu, directement cette fois, de l'écorce de la racine mère; cela fait, elle moule sa surface sur le contour assez irrégulier du trou et se soude avec l'écorce qu'elle a traversée.

Conocéphalées. — Une racine latérale de *Cecropia peltata* possède sous l'assise pilifère dix assises corticales, dont la dernière, qui est l'endoderme, a ses parois très minces, facilement déchirées, munies pourtant de plissements très marqués. Le cylindre central se compose d'un péricycle à deux rangs tout autour, de quatre faisceaux ligneux cunéiformes non confluents et de quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu est situé en face d'un faisceau ligneux, accroît ses deux rangs de cellules; mais c'est l'assise externe seule qui, par deux cloisons tangentielles, sépare les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. Le rang interne ne produit que la partie inférieure du cylindre central. L'endoderme suit la croissance du mamelon radicellaire, cloisonne radialement ses cellules et l'enveloppe d'une poche digestive simple, qui est digérée à la base au moment de la sortie. Sous cette poche, l'épiderme s'est à ce moment cloisonné tangentiellement deux fois pour former deux futures calottes de calyptre.

Morées. — Dans la racine terminale des *Morus*, du *M. Morettii*, par exemple, le cylindre central est binaire,

pilulifera deux rangs d'initiales. Dans sa monographie anatomique de l'*Urtica dioica* (*Recherches anatomiques sur les organes végétatifs de l'Urtica dioica*, Bruxelles, 1885, p. 204, pl. XXII), M. Gravis assigne de même deux rangs d'initiales à l'écorce, tant de la racine terminale (p. 206, fig. 1) que des racines latérales de cette plante (p. 207, fig. 4). Le rang externe donnerait l'assise corticale externe, le rang interne tout le reste de l'écorce. Ce résultat est dû sans doute à un défaut d'axilité des coupes, comme paraît en témoigner la superposition exacte des cellules des deux rangs, signalée par ces deux auteurs. Nous nous sommes assurés, en effet, qu'il n'y a dans les racines primaires, terminales ou latérales, des *Urtica*, qu'un seul rang d'initiales pour l'écorce, comme on vient de le voir pour les racines secondaires.

comme dans les *Urtica*, mais le péricycle y a deux assises en dehors des faisceaux ligneux, comme dans les *Cecropia*, et même ordinairement trois au-dessus du milieu des faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène, situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux, accroît radialement ses deux assises de cellules. Mais c'est l'assise externe seule qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central; l'assise interne ne donne que la base du cylindre central. L'endoderme suit la croissance du mamelon, qu'il entoure d'une poche digestive simple, de bonne heure digérée à la base. A la sortie, la radicelle a ses trois sortes d'initiales bien distinctes. Son épiderme s'est divisé tangentiellement trois fois autour du sommet. Son écorce, terminée par une initiale, a pris cinq assises à la base, où elle raccorde à travers l'épistèle son endoderme à celui de la racine mère par les cellules triplissées. Son cylindre central a une initiale au sommet (1).

La déviation des radicelles est ordinairement plus grande ici que dans les *Urtica*. Aussi n'insèrent-elles habituellement leur liber que sur l'un des deux faisceaux libériens de la racine mère. En conséquence, les quatre séries de radicelles sont aussi moins rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux.

Une racine latérale de *Morus constantinopolitana* a, sous l'assise pilifère, une vingtaine d'assises corticales dont la dernière est un endoderme à parois latérales très minces, pourvues de courts plissements échelonnés le long des arêtes internes; l'assise sus-endodermique renferme dans un grand nombre de ses cellules des mâcles sphéroïdales d'oxalate de chaux. Le cylindre central a un péricycle double ou triple tout autour, trois faisceaux ligneux et trois faisceaux libériens, disposés autour d'une moelle assez volumineuse formée de cellules

(1) M. Flahault (*loc. cit.*, p. 126) attribue à la racine terminale embryonnaire du *Morus alba* un groupe d'initiales communes au cylindre central, à l'écorce et à l'épiderme. On voit que les trois sortes d'initiales sont, au contraire, bien distinctes dans les radicelles.

très étroites. Chaque faisceau libérien contient, en dedans de ses tubes criblés externes, un groupe de fibres, qui épaississent beaucoup, mais lignifient peu leurs membranes. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît et cloisonne ses deux ou trois rangs de cellules ; mais le rang externe s'allonge radialement beaucoup plus que les autres et c'est lui qui forme à la fois l'épiderme, l'écorce et la partie supérieure du cylindre central ; l'autre ou les deux autres ne donnent que la région inférieure du cylindre. L'endoderme dilate ses cellules et forme une poche d'abord simple, mais qui ne tarde pas à se dédoubler autour de l'extrémité par une cloison tangentielle; plus tard elle prend une nouvelle cloison tangentielle dans son assise interne et devient triple au sommet. Avant la sortie, son anneau basilaire est comprimé et résorbé. Les trois régions de la radicelle sont moins nettement séparées au sommet que dans la radicelle issue de la racine terminale ; elles ont pourtant, même à la sortie, leurs initiales propres. A ce moment, l'épiderme a pris, sous la poche triple ou quadruple, huit à dix assises d'épaisseur.

A mesure que cette racine ternaire s'amincit, l'un de ses faisceaux ligneux s'apprête à disparaître; mais bien avant sa disparition, les radicelles qui se forment en correspondance avec les deux autres se disposent obliquement et prennent une déviation sensible. La disposition diplostique propre à la structure binaire s'introduit donc déjà dans la structure ternaire, quand celle-ci tend à se réduire, mais notablement avant que la réduction au type deux y soit effectuée.

Artocarpées. — Une racine latérale de *Ficus Abeli* a, sous l'assise pilifère, dix assises corticales dont l'interne est un endoderme à parois latérales très minces, munies de courts plissements. Le cylindre central a deux faisceaux ligneux qui laissent au centre une petite moelle, deux faisceaux libériens alternes et un péricycle simple en face des faisceaux ligneux, double vis-à-vis des faisceaux libériens. L'arc péricyclique

rhizogène chevauche notablement sur le faisceau ligneux correspondant, de sorte que la déviation de la radicelle est faible; ses cellules s'accroissent radialement et se divisent par deux cloisons tangentielles successives, pour séparer les trois régions de la radicelle.

En même temps, l'endoderme agrandit ses cellules, les divise par des cloisons radiales et entoure le mamelon d'une poche simple, qui digère le reste de l'écorce et persiste jusqu'après la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle s'est divisé trois ou quatre fois tangentiellement au sommet sous la poche. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est cloisonnée deux ou trois fois vers la base, où commence à s'opérer le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central aussi se termine par deux grandes initiales (1). Dès avant la sortie, la croissance transversale de l'écorce au niveau où l'épiderme a découpé sa première calotte de calyptre, repousse en dehors la partie supérieure de la poche dont les bords deviennent libres, tandis que le manchon inférieur reste adhérent à la radicelle; en même temps, la première calotte de calyptre, se substituant à la partie supérieure de la poche, pose son bord sur le manchon inférieur, dont elle paraît désormais être la continuation. La poche se trouve de la sorte divisée en deux parties : l'inférieure incorporée à la radicelle, la supérieure libre et qui plus tard s'exfoliera.

Les choses se passent absolument de la même manière dans les *Artocarpus* (*A. Canoni*, etc.), pour la structure binaire de la racine, pour le mode de formation et la disposition quadrisériée des radicelles, enfin pour l'origine de la poche digestive, dont la base se trouve incorporée par le même mécanisme de poussée latérale, de glissement et de substitution que nous venons de décrire chez les *Ficus*.

(1) D'après M. Eriksson (*loc. cit.*, p. 118) et d'après M. Flahault (*loc. cit.*, p. 126), les racines adventives des *Ficus* auraient à leur sommet un groupe d'initiales communes au cylindre central, à l'écorce et à l'épiderme. Cette confusion des initiales n'existe pas, on le voit, dans les radicelles.

Cannabinées (pl. VI, fig. 65 et 66). — La racine terminale du *Cannabis sativa* a, sous l'assise pilifère, six à huit assises corticales dont l'interne est un endoderme à courts plissements localisés au bord interne des faces radiales. Le cylindre central a deux faisceaux ligneux, composés de larges vaisseaux et qui confluent plus tard au centre, et deux faisceaux libériens alternes; le péricycle a deux assises en dehors des faisceaux libériens, trois, quatre et même cinq assises en dehors des faisceaux ligneux, ce qui rend la section du cylindre central elliptique.

L'arc rhizogène péricyclique chevauche fortement sur le faisceau ligneux correspondant, de sorte que la déviation de la radicelle est petite, d'environ 15 à 20 degrés (pl. VI, fig. 65). Il agrandit à la fois ses quatre ou cinq rangs de cellules. L'assise externe ne produit que l'épiderme de la radicelle. C'est la seconde assise qui, par une cloison tangentielle, sépare, en dedans le sommet du cylindre central avec son initiale, en dehors l'écorce avec son initiale. Les assises internes de l'arc rhizogène ne produisent toutes ensemble que la région inférieure du cylindre central. Nous voyons ici, pour la première fois, l'épiderme de la radicelle être déjà distinct dans le péricycle de la racine mère; il y est représenté par l'assise péricyclique externe dont il dérive directement, assise qui est d'ailleurs continue tout autour du cylindre central, puisque le péricycle est double en dehors des faisceaux libériens.

En même temps, l'endoderme dilate ses cellules autour du mamelon radicellaire, et ne les divise que par des cloisons radiales, de manière à former une poche digestive simple, qui se résorbe autour de la base un peu avant la sortie. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, simple sur les flancs, a pris autour du sommet deux cloisons tangentielles. Son écorce, terminée par une initiale accompagnée de chaque côté par un ou deux segments indivis, s'est cloisonnée tangentiellement deux fois à la base, où commence à s'opérer le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Enfin, le sommet

du cylindre central est occupé par une seule initiale (1).

La radicelle primaire du *Cannabis* a la même structure que la racine terminale, avec une écorce plus mince, n'ayant que trois ou quatre assises; mais le péricycle y est simple tout autour. La radicelle secondaire s'y forme, dans le péricycle simple, suivant la règle ordinaire. Le caractère tout particulier qui a été signalé plus haut est donc localisé dans la racine terminale; il se perd dans les radicelles des divers ordres, qui font retour au type normal.

La racine terminale de l'*Humulus japonicus* a, sous l'assise pilifère, sept assises corticales dont la dernière est un endoderme à plissements situés au milieu des faces radiales. Le cylindre central a deux faisceaux ligneux bisériés qui confluent plus tard au centre, deux faisceaux libériens alternes et un péricycle double en dehors des faisceaux libériens, triple, quadruple ou même quintuple en face des faisceaux ligneux, ce qui rend le cylindre central elliptique. L'arc rhizogène, oblique par rapport à un faisceau ligneux, accroît et cloisonne toutes ses assises (pl. VI, fig. 66). L'externe donne directement l'épiderme de la radicelle; la seconde produit à la fois l'écorce et le sommet du cylindre central; les autres ne donnent que la base du cylindre. L'endoderme enveloppe la radicelle d'une poche simple jusqu'à la sortie, où elle est digérée tout autour de la base. A ce moment, l'épiderme de la radicelle, simple sur les flancs, n'a pris encore qu'une cloison tangentielle autour du sommet, où il est double. Son écorce, terminée par une initiale accompagnée de chaque côté par un segment indivis, ne s'est cloisonnée aussi qu'une seule fois vers la base, où commence néanmoins à se faire le raccord des endodermes. Son cylindre central a aussi au sommet une seule initiale (2).

(1) D'après M. Flahault (*loc. cit.*, p. 126), la racine terminale embryonnaire du *Cannabis sativa* aurait au sommet deux rangs d'initiales pour l'écorce. Nous n'avons trouvé constamment, dans les radicelles de divers ordres, qu'un seul rang de cellules indivises au sommet de l'écorce, et de toutes ces cellules la médiane seule est l'initiale de l'écorce.

(2) D'après M. Flahault (*loc. cit.*, p. 126), la racine terminale embryonnaire

Les radicelles primaires de l'*Humulus* ont un péricycle simple tout autour et produisent les radicelles secondaires suivant le mode ordinaire.

En un mot, les choses se passent dans les *Humulus*, pour tous les points essentiels, comme dans les *Cannabis*. Ces deux genres offrent en commun, dans la formation des radicelles primaires à l'intérieur de la racine terminale, un caractère tout à fait exceptionnel; mais tous deux aussi perdent ce caractère et font retour au type ordinaire dans la formation des radicelles d'ordre supérieur au premier.

Celtidées (pl. VI, fig. 67). — La racine terminale du *Celtis australis* compte huit assises corticales entre l'assise pilifère et l'endoderme, dont les petites cellules tabulaires portent des plissements très fins. Le cylindre central a un péricycle double tout autour, deux faisceaux ligneux non confluents au centre et deux faisceaux libériens étalés, séparés des faisceaux ligneux par quatre à cinq rangs de petites cellules conjonctives. Les faisceaux libériens renferment, en dedans de leurs tubes criblés externes, des fibres à membrane peu lignifiée, pareilles à celles qui ont été signalées plus haut dans les *Morus*; la présence de ces fibres dans les *Celtis* a été indiquée par M. Russow dès 1875.

L'arc rhizogène comprend à peu près le quart du contour du péricycle, soit environ quinze cellules sur soixante. Il correspond à un faisceau ligneux, mais obliquement, de manière à placer, par exemple, neuf cellules d'un côté, six de l'autre (fig. 67). La déviation de la radicelle est donc petite; les quatre séries de radicelles sont fortement rapprochées du côté des faisceaux ligneux et il se fait assez fréquemment des radicelles doubles. L'arc rhizogène accroît et cloisonne ses deux rangs de cellules. Mais c'est l'assise externe seule qui, par deux cloisons tangentielles successives, produit d'abord à l'in-

de l'*Humulus Lupulus* aurait au sommet un groupe d'initiales communes à ses trois régions. On voit qu'au contraire les trois sortes d'initiales sont bien distinctes dans les radicelles des divers ordres.

térieur, par sa partie profonde, le sommet du cylindre central avec son initiale ou sa paire d'initiales, puis à l'extérieur l'écorce et l'épiderme, avec l'épistèle. L'assise interne ne donne que la région inférieure du cylindre central.

En même temps les cellules endodermiques superposées se dilatent et se divisent par des cloisons radiales, pour former autour de la radicelle une poche digestive simple ; les cloisons primitives s'y distinguent des autres par leurs plissements bien marqués (fig. 65). A la sortie, la poche prend quelquefois à l'extrémité une cloison tangentielle et devient ainsi double au sommet. Son manchon inférieur demeure adhérent à la radicelle jusqu'à un certain niveau, au-dessus duquel l'épaississement transversal de l'écorce rejette en dehors en forme de bonnet sa partie supérieure, en plaçant l'épiderme exactement dans le rang du manchon inférieur. En un mot, les *Celtis* ont, comme les *Ficus*, une poche digestive simple à base incorporée. A la sortie, la radicelle a son épiderme simple à la base et quadruple au sommet. Son écorce, terminée par une ou deux initiales, accompagnées de chaque côté par un segment indivis, a cinq assises cellulaires à la base, où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées (1).

Ulmées (pl. VI, fig. 68). — La racine terminale de l'*Ulmus campestris* a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales dont la dernière est un endoderme à larges plissements. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux non confluents et deux faisceaux libériens. Pour former une radicelle, un arc péricyclique composé de cinq à sept cellules sur la section transversale, situées toutes du même côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les cloisonne deux fois tangentiellement suivant le mode normal, pour séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales (fig. 68).

(1) D'après M. Flahault (*loc. cit.*, p. 126), la racine terminale embryonnaire du *Celtis australis* aurait au sommet un groupe d'initiales communes au cylindre central, à l'écorce et à l'épiderme. On voit que, dans les radicelles, les trois sortes d'initiales sont, au contraire, bien distinctes.

Le mamelon ainsi constitué se dirige dans l'écorce avec une déviation de 40 degrés environ. Toutes les radicelles sont donc disposées en quatre séries, légèrement rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux.

En même temps l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les divise que par des cloisons radiales, de manière à envelopper la radicelle d'une poche digestive, qui demeure simple jusqu'à la sortie et qui est digérée à la base. A ce moment, l'épiderme de la radicelle, simple dans son anneau inférieur, a pris quatre cloisons tangentielles au sommet. Son écorce, terminée par trois cellules simples, une initiale et deux segments encore indivis, a pris quatre cloisons tangentielles vers la base où se fait le raccord des endodermes. Son cylindre central se termine par une paire d'initiales.

Les sept familles que nous venons d'étudier sont souvent réunies en une seule grande famille, celle des Urticacées, dont elles constituent autant de tribus. On voit que, chez toutes les Urticacées, la radicelle se fait tout entière dans le péricycle de la racine mère, et est enveloppée par une poche digestive simple provenant de l'endoderme de la racine mère, poche qui se détache, tantôt par digestion (Urticées, Conocéphalées, Morées, Cannabinées, Ulmées), tantôt par incorporation de son anneau basilaire (Artocarpées, Celtidées). Les Cannabinées se distinguent des autres groupes par la manière remarquable dont les radicelles primaires se constituent dans le péricycle de la racine terminale; mais cette différence s'efface dans les radicelles d'ordre supérieur au premier.

Partout aussi la racine terminale est binaire et les radicelles s'y disposent en quatre rangées, mais avec une déviation dont la grandeur varie non seulement suivant les genres et les espèces, mais encore dans la même espèce et le long de la même racine mère. Si la déviation est grande, les quatre séries de radicelles sont espacées et nettement distinctes au dehors; si elle est petite, elles sont rapprochées deux par deux et il semble au dehors qu'il n'y en ait que deux rangées. Aussi

M. Clos a-t-il attribué à la fois aux Urticées les deux dispositions distique et tétrastique. « Dans les *Urtica pilulifera* et *pumila*, dit-il, nous avons remarqué le rapprochement, tantôt des quatre rangs deux à deux et tantôt seulement de deux d'entre eux; et l'on conçoit que ce rapprochement puisse être tel que les deux rangs se confondent en un seul : de là, la présence de deux ou trois rangs au lieu de quatre » (*loc. cit.*, 1848, p. 19). Ce passage est intéressant; il montre combien M. Clos a été près de reconnaître dans cette famille le véritable état des choses, c'est-à-dire la constance du type tétrastique, et de se rendre compte du phénomène secondaire qui le masque souvent à l'extérieur.

Thélygonées. — La racine terminale du *Thelygonum Cynocrambe* a, comme celle des *Urtica*, un cylindre central binaire avec un péricycle unisérié, dont le pourtour compte environ trente-deux cellules. La formation d'une radicelle prend douze de ces cellules, situées huit d'un côté d'un faisceau ligneux, quatre du côté opposé. La déviation est donc assez petite et plus tard la radicelle attachera son liber à la fois sur les deux faisceaux libériens. L'arc rhizogène se cloisonne deux fois tangentiellement suivant la règle ordinaire.

L'arc d'endoderme superposé, qui comprend six à huit cellules, suit la protubérance en se divisant par des cloisons radiales et forme autour de la radicelle une poche digestive simple, encore complète au moment de la sortie, mais dont les cellules basilaires se vident, s'affaissent et sont digérées bientôt après, tandis que le reste est poussé dehors comme un bonnet, qui plus tard s'exfolie. A l'instant où la radicelle pointe au dehors, son épiderme est encore indivis dans presque toute la longueur; au sommet seulement, il vient de découper une petite calotte de calyptre. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, a produit à la base trois ou quatre assises cellulaires et commence à raccorder son endoderme avec celui de la racine mère par les cellules triplissées.

Par sa poche digestive simple à base digérée, comme par

ses autres caractères, notamment par la simplicité de son péricycle, le *Thelygonum Cynocrambe* se rapproche donc des Urticées, plus que des autres tribus de la famille des Urticacées.

Platanees. — La racine terminale du *Platanus occidentalis* a, sous l'assise pilifère, sept ou huit assises corticales dont la plus interne est un endoderme à très petits plissements. Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, deux faisceaux ligneux unis au centre en une bande diamétrale et deux faisceaux libériens alternes.

Pour former une radicelle, un arc péricyclique composé de quatre cellules, toutes situées d'un même côté d'un des faisceaux ligneux, accroît radialement ses éléments et les cloisonne tangentiellement à deux reprises pour séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. Le mamelon ainsi formé se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 45 degrés. Toutes ensemble, les radicelles primaires sont donc disposées sur le pivot en quatre séries longitudinales sensiblement équidistantes. En même temps l'arc d'endoderme superposé dilate des cellules et les divise par quelques cloisons radiales, de manière à envelopper la radicelle d'une poche digestive simple, et qui reste telle jusqu'après la sortie, où elle est digérée à la base. A ce moment, l'épiderme de la radicelle a pris deux cloisons tangentielles et est devenu triple au sommet; son écorce, terminée par une initiale, s'est divisée aussi deux fois vers la base. Le cylindre central a une seule initiale au sommet.

Casuarinées (pl. VI, fig. 69). — Dans une racine de *Casuarina stricta*, l'écorce comprend, entre l'assise pilifère et l'endoderme, sept assises de cellules; son cylindre central a un péricycle unisérié sur tout le pourtour, quatre faisceaux ligneux laissant entre eux au centre une petite moelle, et quatre faisceaux libériens alternes.

Pour former une radicelle, six cellules péricycliques, for-

mant un arc dont le milieu correspond exactement au vaisseau le plus externe d'un faisceau ligneux, s'allongent radialement et se cloisonnent tangentiellement deux fois, suivant la règle ordinaire, pour séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales (fig. 69). En même temps, l'endoderme suit le mamelon en cloisonnant radialement ses cellules et l'enveloppe d'une poche digestive; plus tard les cellules voisines du sommet prennent une cloison tangentielle et la poche est double tout autour de l'extrémité. C'est cette poche qui digère progressivement les assises de l'écorce pour permettre à la radicelle de s'échapper. Elle est plus tard digérée à la base. Un peu avant la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris autour du sommet une cloison tangentielle; son écorce, terminée par deux grandes initiales, s'est dédoublée vers la base; le cylindre central se termine aussi par deux initiales.

Dans une racine un peu plus grosse de la même plante, l'écorce compte entre l'assise pilifère et l'endoderme onze à douze assises cellulaires; le cylindre central a sept faisceaux ligneux et sept faisceaux libériens alternes disposés autour d'une assez large moelle, le tout entouré par un péricycle double en dehors des faisceaux ligneux, simple en dehors des faisceaux libériens. Pour former une radicelle, un arc péricyclique supraligneux agrandit à la fois ses deux rangs de cellules; mais c'est le rang externe qui s'accroît le plus et qui donne la radicelle tout entière, dont il sépare, par deux cloisonnements tangentiels successifs, les trois régions avec leurs initiales; le rang interne ne forme que la base du cylindre central. L'endoderme entoure d'ailleurs la radicelle, comme dans le premier cas, d'une poche digestive double au sommet et simple à la base, où plus tard elle est digérée. Qu'il y ait une ou deux rangées au péricycle, la radicelle se forme donc toujours de la même manière, c'est-à-dire aux dépens d'une seule assise de cellules.

Chloranthées (pl. VI, fig. 70). — Une racine latérale de *Chloranthus inconspicuus* a dans son écorce, entre l'assise

pilifère et l'endoderme, dix-huit à vingt assises cellulaires dont les plus internes ont leurs éléments disposés en séries radiales. Le cylindre central a six faisceaux ligneux et six faisceaux libériens alternes, rangés en cercle autour d'une assez large moelle, et enveloppés par un péricycle à deux ou trois rangs sur tout son pourtour. Pour former une radicelle, un arc péricyclique supraligneux, large de dix à douze cellules, agrandit beaucoup radialement ses deux ou trois rangs de cellules. Le rang externe se dédouble tangentiellement deux fois pour produire en dehors l'épiderme, au milieu l'écorce, en dedans le sommet du cylindre central; le rang interne ou les deux rangs internes produisent seulement la partie inférieure, au début la plus volumineuse, du cylindre central (fig. 70). C'est donc encore ici le rang externe qui produit la radicelle tout entière, avec ses trois sortes d'initiales.

En même temps l'endoderme agrandit ses cellules tangentiellement et les divise par des cloisons radiales, de manière à former autour de la radicelle une poche digestive d'abord simple, plus tard double autour du sommet. C'est cette poche qui dissout l'écorce et fraie le chemin à la radicelle, en même temps qu'elle la nourrit. Elle paraît plus tard incorporée à la base. Un peu avant la sortie, l'épiderme s'est divisé tangentiellement quatre ou cinq fois sous la poche, pour séparer autant de calottes de calyptre. L'écorce, terminée par deux grandes initiales, s'est divisée plusieurs fois vers la base; le cylindre central a aussi au sommet deux grandes initiales. Les trois sortes d'initiales sont d'ailleurs semblables et il faut de l'attention pour les distinguer.

Pipéracées (pl. VI, fig. 71). — La racine terminale des *Piper* a la structure binaire et dispose ses radicelles primaires en quatre séries, rapprochées deux par deux en face des faisceaux ligneux.

Entre l'assise pilifère à poils très serrés et l'endoderme dont les plissements sont très marqués, la racine terminale du *Piper excelsum*, par exemple, compte environ dix assises cor-

ticales (1). Son cylindre central a un péricycle unisérié, deux faisceaux ligneux confluents au centre en une bande diamétrale et deux faisceaux libériens alternes, séparés de la bande ligneuse diamétrale par un ou deux rangs de cellules conjonctives (fig. 71). L'arc péricyclique rhizogène compte huit cellules sur la section transversale, six d'un côté d'un faisceau ligneux, deux seulement de l'autre. Il en résulte que la déviation de la radicelle est grande, d'environ 40 degrés. Ces cellules se cloisonnent deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. En même temps, l'endoderme dilate ses cellules et forme autour du mamelon une poche digestive, simple à la base où elle est plus tard incorporée, dédoublée au sommet par une cloison tangentielle et qui persiste jusqu'après la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné tangentiellement jusqu'à cinq ou six fois autour de l'extrémité, où il est très épais. L'écorce, dont le sommet est légèrement concave, se termine par deux initiales et offre quatre ou cinq assises cellulaires à la base, où commence à s'établir le raccord des endodermes par les cellules triplissées (fig. 71).

Une racine latérale de *Piper excelsum* a dans son cylindre central trois faisceaux ligneux non confluents au centre et trois faisceaux libériens. Les radicelles y naissent de la même manière, mais exactement en face des faisceaux ligneux; elles y sont donc disposées en trois séries. Toutefois, si l'on considère une région assez éloignée de l'insertion sur la tige pour que la racine en s'amincissant se dispose à perdre l'un de ses trois faisceaux ligneux, en devenant binaire, on voit que l'arc péricyclique rhizogène est obliquement situé par rapport au faisceau ligneux correspondant. Il y a encore trois faisceaux ligneux, et déjà s'est introduite la disposition diplostique propre au cas de deux faisceaux, sans doute parce que le troisième faisceau est désormais impropre à servir d'insertion à une radicelle. Nous avons déjà eu (p. 83) et nous retrouverons

(1) Voy. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 262, 1871).

encore plusieurs fois, au cours de ce travail, l'occasion de faire cette remarque. La disposition diplostique des radicelles s'introduit fréquemment ainsi dans des racines encore ternaires, mais qui vont devenir binaires.

Une racine latérale de *Houttuynia cordata* a aussi un péricycle simple, trois faisceaux ligneux et trois faisceaux libériens alternes autour d'une petite moelle. L'arc rhizogène péricyclique prend quatre cellules, deux de chaque côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'accroissent radialement et se partagent toutes par une cloison tangentielle qui sépare en dedans le cylindre central. Puis les deux médianes prennent une nouvelle cloison tangentielle en dehors de la première et isolent l'épiderme et l'écorce, tandis que les deux latérales forment l'épistèle. En même temps les trois cellules endodermiques superposées se dilatent, prennent des cloisons radiales et entourent le mamelon d'une poche digestive simple.

Une racine latérale de *Saururus Loureiri* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse fortement différenciée et quinze ou seize assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central possède un péricycle double tout autour, quatre larges faisceaux ligneux triangulaires, laissant entre eux au centre une moelle assez épaisse et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, donne par son rang externe à la fois l'écorce, l'épiderme et le sommet du cylindre central de la radicelle, avec leurs initiales; le rang interne ne produit que la région inférieure, au début la plus volumineuse, du cylindre central. En même temps, l'endoderme forme une poche digestive simple, qui enveloppe la radicelle pendant toute sa croissance à travers l'épaisse écorce. A la sortie, l'épiderme s'y est cloisonné un grand nombre de fois vers le sommet, pour former une calyptre épaisse, sous laquelle l'écorce se termine par deux initiales accompagnées d'un ou deux segments indivis.

Les Saururées, comme les Pipérées, forment donc leurs radicelles tout entières dans le péricycle, avec poche endodermique simple.

Myricées (pl. VI, fig. 72). — Une racine latérale de *Myrica Gale* a , sous l'assise pilifère, treize assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a cinq faisceaux ligneux séparés au centre par une moelle assez large, cinq faisceaux libériens alternes et un péricycle à cellules fort allongées radialement, ordinairement simple tout autour, çà et là double en face des faisceaux ligneux.

Pour former une radicelle, un arc péricyclique, comprenant, par exemple, huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments, puis les divise tangentiellement à deux reprises, de manière à séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les divise que par des cloisons radiales, de façon à entourer la radicelle d'une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la fin. A mesure qu'elles attaquent et digèrent progressivement de dedans en dehors les assises corticales, les cellules de la poche se remplissent de résine, grossissent, s'arrondissent et se dissocient. Au moment de la sortie (fig. 72), sous cette poche résinifiée et désagrégée, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné trois ou quatre fois vers le sommet. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée quatre fois vers le milieu de la longueur ; elle s'amincit ensuite progressivement vers la base où s'opère à travers l'épistèle le raccord des endodermes. Son cylindre central a aussi deux initiales au sommet (1).

Les racines de *Myrica Gale* produisent çà et là de petits tubercules. Ce sont des radicelles renflées et arrêtées dans leur croissance, mais de même origine que les radicelles ordinaires.

Salicinées (pl. VI, fig. 73-75). — Entre l'assise pilifère et

(1) D'après M. Flahault, la racine terminale embryonnaire du *Myrica Faya* aurait au sommet un groupe d'initiales communes à ses trois régions (*loc. cit.*, p. 153). On voit que les radicelles ont, au contraire, leurs trois sortes d'initiales bien distinctes.

l'endoderme formé de petites cellules, une racine latérale de *Salix alba* compte environ douze assises corticales. Le cylindre central y possède un péricycle double dans toute son étendue, parfois simple en dehors des faisceaux libériens, parfois triple vis-à-vis des faisceaux ligneux. Il y a quatre faisceaux ligneux, séparés au centre par une assez large moelle, et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène, dont le milieu correspond exactement à un faisceau ligneux, compte huit à dix cellules de largeur. Les deux cellules médianes du rang externe, ou même les quatre cellules médianes (fig. 73), s'allongent plus que les autres vers l'intérieur et découpent leurs bases par une cloison tangentielle, pour constituer le sommet du cylindre central avec ses deux initiales ; le reste du cylindre est produit par les cellules sous-jacentes du rang interne qui s'allongent aussi beaucoup. Puis toutes les cellules du rang externe, à l'exception des extrêmes, se divisent par une cloison tangentielle qui sépare l'écorce de l'épiderme. Ce sont donc, en définitive, les deux cellules médianes du rang externe qui produisent les initiales des trois régions. Il en est de même quand le péricycle est triple vis-à-vis des faisceaux ligneux (fig. 75).

Dans d'autres radicelles, les choses se passent un peu différemment. L'assise interne donne le cylindre central tout entier avec son initiale (fig. 74) ; l'assise externe ne subit qu'un seul cloisonnement tangentiel et ne produit que l'écorce et l'épiderme. Nous retrouverons plus loin d'autres exemples de cette double manière d'être dans la radicelle de la même plante.

L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise par des cloisons radiales non plissées, de manière à envelopper la radicelle d'une poche simple, qui digère toute l'écorce. L'action dissolvante de la poche s'étend ici de bonne heure à plusieurs assises corticales, qui disparaissent en laissant un assez large espace vide tout autour du cône radicellaire (fig. 73 et 74) ; elle continue ensuite de s'exercer à distance, car l'espace vide progresse vers l'extérieur en même temps que la radicelle, qui n'arrive pas, surtout au sommet, à en toucher les

parois. Avant la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné deux ou trois fois autour du sommet; son écorce, terminée par deux initiales, accompagnées d'un ou de deux segments entiers, s'est divisée trois ou quatre fois à la base, où commence à s'opérer le raccord des deux endodermes par les cellules triplissées. Au moment de la sortie, la poche est digérée à sa base, emportée au sommet de l'épiderme et plus tard exfoliée avant la première calotte de la calyptre.

Polygonacées (pl. VI, fig. 76-78). — M. de Janczewski a fait connaître la formation des radicelles dans la racine terminale quaternaire du *Fagopyrum esculentum* (1). Nous avous pu vérifier la parfaite exactitude de sa description sur cette plante et sur le *F. rotundatum*.

La plupart des autres Polygonacées ont aussi leur racine terminale quaternaire et leurs radicelles disposées en quatre séries équidistantes, dont deux correspondent aux cotylédons.

Prenons pour exemple le *Polygonum orientale*. Au-dessous de l'assise pilifère et de l'assise subéreuse, l'écorce compte environ six assises de grandes cellules disposées en séries radiales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux unisériés confluents au centre et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène appuie son milieu sur un faisceau ligneux et compte quatre à six cellules, qui s'accroissent radialement et se divisent tangentiellement deux fois pour dégager les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. En même temps les cellules endodermiques superposées au mamelon se dilatent, se divisent çà et là par une cloison radiale et forment autour de la radicelle une poche digestive simple, qui l'accompagne jusqu'à sa sortie; elle est alors digérée à la base et entraînée en forme de bonnet. Avant la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est divisé deux ou trois fois à l'extrémité. Son écorce, terminée par deux initiales accompagnées de chaque

(1) E. de Janczewski, *Recherches sur le développement des radicelles dans les Phanérogames* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XX, p. 52, 1874).

côté par un ou deux segments indivis, s'est cloisonnée une ou deux fois vers la base. Son cylindre central a au sommet une seule initiale (fig. 78).

Même structure quaternaire de la racine terminale et même mode de formation des radicelles avec poche endodermique simple, dans l'*Emex Centropodium*, dans les *Rumex vesicarius* (fig. 77), *induratus*, *roseus;* les quatre faisceaux ligneux unisériés y sont réunis au centre par un gros vaisseau axile. Le *Rumex maderensis* n'a que trois faisceaux ligneux confluents autour d'un gros vaisseau axile et trois séries de radicelles. Les *Rumex græcus*, *ægyptiacus*, *maritimus*, *palustris*, *bucephalophorus*, *ukranicus*, n'ont que deux faisceaux ligneux confluents. Aussi les radicelles s'y forment-elles en quatre rangées rapprochées deux par deux. Le genre *Rumex* offre donc, suivant les espèces, trois dispositions différentes des radicelles dans la racine terminale, savoir : la disposition quadrisériée isostique, la disposition trisériée isostique et la disposition quadrisériée diplostique.

Dans les *Rheum*, la structure de la racine terminale change aussi suivant les espèces. Les *Rheum spiciforme*, *contractum*, *macropterum* ont dans le cylindre central quatre faisceaux ligneux confluents, ou séparés au centre par une petite moelle, quatre faisceaux libériens alternes et un péricycle double en face des faisceaux ligneux, simple en dehors des faisceaux libériens. La radicelle, entourée d'une poche endodermique simple, forme son épiderme, son écorce et le sommet de son cylindre central aux dépens de l'assise externe du péricycle; l'assise interne ne produit que la région inférieure du cylindre central. Dans le *Rheum acuminatum* (fig. 76), le cylindre central a huit faisceaux ligneux unisériés non confluents au centre et autant de faisceaux libériens alternes; le péricycle est double ou triple en face des faisceaux ligneux, double ou simple en dehors des faisceaux libériens. Telle est du moins la structure dans la région supérieure de la racine terminale, et les radicelles y sont disposées en huit rangs. Plus bas, elle s'amincit et le cylindre central n'a plus que six faisceaux ligneux confluents au centre, avec un péricycle simple tout autour; les

radicelles y sont désormais en six rangées. Dans tous les cas, la radicelle est enveloppée jusqu'après sa sortie d'une poche endodermique simple.

La formation de ce que nous nommons ici la poche digestive endodermique a été très exactement décrite dans le *Fagopyrum esculentum* par M. de Janczewski (*loc. cit.*, p. 53), qui l'a considérée comme étant l'assise externe de la coiffe.

M. Clos a reconnu la disposition tétrastique des radicelles primaires chez les Polygonacées (*loc. cit.*, 1848, p. 18). Mais la distinction entre les deux dispositions tétrastiques si différentes qu'offrent les *Rumex*, par exemple, lui a échappé. Il n'a pas observé non plus l'existence d'un nombre de rangées supérieur à quatre, telle qu'on la rencontre chez certains *Rheum*.

Phytolaccacées (pl. VI, fig. 79). — Les *Phytolacca* ont leur racine terminale binaire et disposent leurs radicelles primaires en quatre rangées, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux.

La racine terminale du *Phytolacca racemosa*, par exemple, du *Ph. acinosa* ou du *Ph. dioica*, a son écorce formée de cinq assises de cellules dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central se compose d'un péricycle simple, de deux faisceaux ligneux unisériés confluents au centre et de deux faisceaux libériens séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux assises conjonctives. L'arc péricyclique rhizogène comprend environ douze cellules, neuf d'un côté d'un faisceau ligneux, trois de l'autre côté; il en résulte que la déviation est assez grande, environ 35 degrés. Les cellules péricycliques se découpent par deux cloisons tangentielles pour séparer les trois régions avec leurs initiales. Plus tard, les cellules endodermiques se dilatent et se cloisonnent radialement pour suivre la croissance du mamelon; d'abord simple, la poche qu'elles forment ainsi ne tarde pas à se dédoubler autour du sommet par une cloison tangentielle (fig. 79); plus tard, il se fait même souvent une seconde cloison tangentielle et la poche est triple

à l'extrémité. C'est cette poche qui digère l'écorce. Après la sortie de la radicelle, elle est encore continue dans toute sa longueur, mais elle ne tarde pas à se séparer de sa cellule de base qui est demeurée simple et qui s'incorpore à la radicelle autour de l'épistèle; elle est alors entraînée comme un bonnet. Sous cette poche épaisse au sommet, l'épiderme de la radicelle ne s'est cloisonné qu'une ou deux fois au moment de la sortie. Son écorce, terminée par deux initiales accompagnées de chaque côté par un ou deux segments indivis, s'est cloisonnée tangentiellement deux ou trois fois en bas, où s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

On a vu que l'arc péricyclique rhizogène chevauche notablement sur le faisceau ligneux; il en résulte que si deux radicelles naissent au même niveau en correspondance avec le même faisceau ligneux, elles se fusionnent en une radicelle double, plus grosse et exactement insérée en face du faisceau ligneux. C'est en effet ce que nous avons observé à diverses reprises dans les plantes de ce genre.

Malgré ce chevauchement, la déviation est assez grande pour que, même du dehors, les quatre rangées de radicelles soient bien distinctes. Aussi M. Clos a-t-il reconnu la disposition tétrastique des radicelles dans les Phytolaccées; pourtant il a cru y voir une fois deux rangs (*Semonvillea*) (*loc. cit.*, 1848, p. 19).

Nyctaginées (pl. VI, fig. 80-81). — Les Nyctaginées ont la racine terminale tantôt binaire avec radicelles disposées en quatre rangées rapprochés deux par deux (*Allionia nyctaginea*, *Pentacrophys Wrightii*), tantôt quaternaire avec radicelles en quatre rangées équidistantes (*Mirabilis longiflora*, *M. Jalapa*, etc.). Dans le *M. Jalapa*, les deux manières d'être se rencontrent suivant les individus considérés (1).

Prenons pour exemple une racine terminale quaternaire de *Mirabilis longiflora* ou de *M. Jalapa*. Entre l'assise pilifère et

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XIII, p. 239, 1871).

l'endoderme, l'écorce comprend ordinairement six assises de cellules. Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, quatre faisceaux ligneux confluents et quatre faisceaux libériens alternes. Au dos de ceux-ci, le péricycle dédouble certaines de ces cellules par une cloison tangentielle et la cellule interne produit un paquet de raphides disposé en long et qui la remplit presque complètement; ces cellules cristalligènes sont superposées en files longitudinales.

Pour former une radicelle, un arc péricyclique, comprenant ordinairement dix cellules et appuyant son milieu sur un faisceau ligneux, se cloisonne deux fois tangentiellement de manière à séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales (fig. 80). En même temps, l'arc d'endoderme superposé agrandit ses cellules et les divise par des cloisons radiales, de façon à envelopper la radicelle d'une poche digestive qui demeure simple dans toute sa longueur, et qui l'accompagne jusqu'après sa sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné deux fois tangentiellement autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par une initiale accompagnée de chaque côté par un segment indivis, s'est cloisonnée tangentiellement deux ou trois fois à la base, où le raccord des endodermes commence à s'établir.

Les choses se passent de même dans la racine terminale binaire de l'*Allionia nyctaginea* et du *Pentacrophys Wrightii*, ainsi que dans les radicelles binaires du *Pisonia nitida* et du *Bougainvillea fastuosa* (fig. 81), avec cette différence que l'arc péricyclique rhizogène est situé ici latéralement par rapport à un faisceau ligneux, de manière que la radicelle fait une déviation d'environ 40 degrés. En outre, dans le *Pisonia nitida*, la poche digestive se dédouble tardivement au sommet par une cloison tangentielle. Toutes ces plantes possèdent, au dos de leurs faisceaux libériens, des files longitudinales de cellules munies de paquets de raphides, découpées dans le péricycle. Si le péricycle est simple, les cellules cristalligènes en occupent la face interne, contre le liber, comme dans les *Mirabilis* (*Bougainvillea*); s'il est double, c'est l'assise externe qui se

cloisonne et les cellules cristalligènes sont comprises entre les deux rangées (*Pisonia*).

Protéacées (pl. VI, fig. 82). — Une racine latérale de *Hakea saligna* a, sous une écorce de cinq ou six assises, un cylindre central formé d'un péricycle simple tout autour, de six faisceaux ligneux séparés au centre par une moelle et de six faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène péricyclique comprend d'ordinaire six cellules, trois d'un côté du faisceau ligneux, trois de l'autre; ces cellules se divisent deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules, les cloisonne radialement et forme autour de la radicelle une poche digestive simple. Au moment de la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné deux fois tangentiellement au sommet sous la poche, dont la base commence à être résorbée. L'écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée deux fois à sa base, où le raccord des endodermes s'établit par les cellules triplissées.

Même structure de la racine latérale avec cinq ou six faisceaux ligneux au cylindre central, et même formation des radicelles dans un péricycle unisérié avec poche endodermique simple, chez le *Banksia australis* et le *Grevillea robusta* (1).

Éléagnées (pl. VI, fig. 83). — Dans une racine d'*Elæagnus tenuiflora*, l'écorce a sous l'assise pilifère dix à douze assises dont la dernière est un endoderme à petites cellules, munies de plissements très rapprochés de la face interne. Le cylindre central a deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens, avec un péricycle double en dehors des faisceaux libériens, ordinairement simple en face des faisceaux ligneux.

(1) D'après M. Eriksson, la racine du *Banksia integrifolia* aurait bien au sommet trois sortes d'initiales, mais le *Grevillea robusta* et l'*Hakea oleifera* auraient des initiales communes pour l'écorce et l'épiderme. On voit que, dans ces trois genres, les radicelles ont, conformément à la règle générale, leurs trois sortes d'initiales distinctes.

Pour former une radicelle, un arc péricyclique comprenant par exemple dix cellules, huit d'un côté d'un faisceau ligneux, deux de l'autre côté, prend deux cloisons tangentielles successives et sépare les trois régions avec leurs initiales. La déviation de la radicelle est d'environ 30 à 35 degrés. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et forme autour du mamelon une poche digestive; celle-ci ne tarde pas à se dédoubler par une cloison tangentielle; avant la sortie, son assise interne se dédouble encore une fois, de sorte que la poche est triple au sommet; en même temps sa base est résorbée. Au moment de la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris quatre ou cinq cloisons tangentielles et forme sous la poche une épaisse calyptre. Son écorce, terminée au sommet par une ou deux initiales accompagnées de chaque côté par un segment indivis, s'est cloisonnée deux ou trois fois à la base, où les endodermes commencent à se raccorder. Les initiales de l'écorce sont peu distinctes de celles de l'épiderme, et il faut quelque attention pour les reconnaître (1).

Même structure de la racine et même formation des radicelles dans l'*Hippophae rhamnoides*. On sait que les racines des Éléagnées portent çà et là de petits tubercules. Ces tubercules sont des radicelles renflées et de bonne heure arrêtées dans leur croissance. Ils ont la même origine que les radicelles ordinaires.

Thyméléacées (pl. VI, fig. 84). — Une racine de *Daphne Laureola* a sous l'assise pilifère une écorce de huit assises, dont la dernière est un endoderme à plissements larges occupant presque toute l'étendue des faces radiales. Le cylindre central a deux faisceaux ligneux non confluents, deux faisceaux libériens alternes et un péricycle simple tout autour. La radicelle se forme d'un côté d'un faisceau ligneux, avec une déviation de 30 à 35 degrés, par le double cloisonnement tangentiel d'un

(1) M. Holle admet aussi dans l'*Elæagnus* trois sortes d'initiales distinctes. M. Flahault, au contraire, pense que la racine terminale embryonnaire de ces plantes a des initiales communes à l'écorce et à l'épiderme (*loc. cit.*, p. 139).

arc péricyclique qui dépasse de deux ou trois cellules le vaisseau le plus externe. Les cellules endodermiques correspondantes se dilatent, se cloisonnent radialement et entourent la radicelle d'une poche digestive simple. Avant sa sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné sept ou huit fois tangentiellement autour du sommet où il est très épais; de son côté, l'écorce, terminée par deux initiales accompagnées de chaque côté d'un segment entier, s'est divisée sept ou huit fois vers la base et cet épaississement rapide de l'écorce a bientôt refoulé et digéré la partie inférieure de la poche (1).

II. — APÉTALES INFÉROVARIÉES.

Cupulifères (pl. VII, fig. 85-90). — Nous prendrons un exemple dans chacune des trois tribus : Bétulées, Corylées et Quercées, qui composent la famille des Cupulifères.

Les Bétulées ont leur racine terminale binaire et disposent leurs radicelles en quatre séries, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. La racine terminale de l'*Alnus incana*, par exemple, a sous l'assise pilifère quatre assises de cellules corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central se compose d'un péricycle simple, de deux faisceaux ligneux confluents au centre et de deux faisceaux libériens alternes, séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux assises conjonctives. L'arc péricyclique rhizogène comprend, par exemple, dix cellules, huit d'un côté d'un faisceau ligneux, deux de l'autre côté; ces cellules se divisent tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. La déviation est d'environ 35 à 40 degrés. Les cellules endodermiques correspondantes se dilatent, se cloisonnent radialement et enveloppent le mamelon d'une poche digestive simple, qui l'accompagne jusqu'à la sortie. A ce

(1) D'après M. Flahault, la racine terminale embryonnaire du *Daphne Mezereum* aurait des initiales communes à l'écorce et à la coiffe (*loc. cit.*, p. 138). On voit que, dans les radicelles, les trois sortes d'initiales sont parfaitement distinctes.

moment, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné deux fois au sommet sous la poche. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée deux fois à la base, où s'établit le raccord d s endodermes.

Même structure binaire et même formation quadrisériée des radicelles, avec poche endodermique simple, dans la racine terminale du *Betula alba*.

Parmi les Corylées, prenons pour exemple le *Corylus bizantina* (fig. 85). Une racine de cette plante a, sous l'assise pilifère, une dizaine d'assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central renferme cinq faisceaux ligneux séparés au centre par une moelle, cinq faisceaux libériens et un péricycle double en face des faisceaux ligneux, simple en dehors des faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène comprend souvent huit cellules, quatre de chaque côté du vaisseau externe d'un faisceau ligneux. Les cellules des deux rangs s'allongent d'abord radialement, mais celles du rang interne cessent bientôt de croître et ne donnent que la base du cylindre central. Celles du rang externe prennent une première cloison tangentielle, qui sépare vers l'intérieur le sommet du cylindre central avec son initiale; puis les cellules externes se divisent de nouveau tangentiellement pour former l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle. C'est donc l'assise externe du péricycle qui produit toute la radicelle.

En même temps les cellules endodermiques superposées se dilatent, prennent quelques cloisons radiales et entourent la radicelle d'une poche, qui digère successivement toutes les assises corticales et se trouve plus tard elle-même résorbée latéralement par l'épaississement de l'écorce radicellaire au-dessus de la base, tandis que les cellules inférieures sont incorporées autour de l'épistèle. Un peu avant la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris six ou sept cloisons tangentielles autour du sommet, où il est très épais. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée quatre ou cinq fois un peu au-dessus de la base et c'est cet épaississement de l'écorce qui résorbe la poche à ce niveau. Tout en bas s'établit à travers

l'épistèle le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Parmi les Quercées, nous avons étudié la formation des radicelles dans la racine terminale des *Quercus* et des *Castanea*. La racine terminale du *Quercus Libani* (fig. 86, 87 et 88), par exemple, a une écorce épaisse, composée d'une vingtaine d'assises cellulaires dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a six faisceaux ligneux disposés autour d'une large moelle, six faisceaux libériens alternes et un péricycle formé de trois rangs de grandes cellules vis-à-vis des faisceaux ligneux, de deux ou trois rangs de cellules plus petites en face des faisceaux libériens, qui sont en conséquence plus proémiments en dehors (1).

Pour former une radicelle, un arc péricyclique, comprenant d'ordinaire dix cellules de largeur et dont le milieu correspond exactement à un faisceau ligneux, accroît radialement et cloisonne ses trois rangs de cellules. Mais ce sont les cellules médianes du rang externe qui grandissent le plus et qui donnent, par deux cloisons tangentielles successives, les initiales des trois régions. Les deux autres rangs ne produisent que la base de l'écorce et du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé se développe en même temps autour du mamelon et ne tarde pas à prendre une cloison tangentielle dans toute sa région externe, de manière à former une poche double. C'est cette poche qui digère l'épaisse écorce de la racine mère; au moment de la sortie, elle s'amincit à la base et s'y résorbe. Avant la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné cinq à sept fois tangentiellement pour former sous la poche une calyptre épaisse. Son écorce, terminée par une grande initiale, ne s'est cloisonnée que deux ou trois fois vers la base. Son cylindre central se termine aussi par une grande initiale.

La racine terminale du *Castanea vulgaris* a, sous l'assise

(1) Voy. aussi Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 247, 1871).

pilifère, une vingtaine d'assises corticales dont la dernière est un endoderme à petites cellules plissées. Le cylindre central a un péricycle de trois à quatre rangs tout autour, dix à douze et jusqu'à quatorze faisceaux ligneux avec autant de faisceaux libériens alternes, rangés autour d'une très large moelle. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu s'appuie sur un faisceau ligneux, accroît surtout les cellules de son assise externe qui, par deux cloisonnements tangentiels, séparent l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central; les deux autres rangs péricycliques ne constituent que la région inférieure du cylindre central.

Mais c'est principalement dans les radicelles primaires issues de la racine terminale que nous avons suivi les divers états du développement des radicelles secondaires (fig. 89 et 90). Les radicelles primaires ont, suivant leur diamètre, les unes cinq, les autres quatre faisceaux ligneux et libériens autour d'une moelle, avec un péricycle double dans les premières, simple dans les secondes. Quand le péricycle est simple, ses cellules, au nombre de six, par exemple, formant un arc dont le milieu répond à un faisceau ligneux, s'accroissent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. Quand le péricycle est double, le rang externe se comporte de la même manière et produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central; l'assise interne s'allonge aussi radialement et se cloisonne, mais ne donne que la partie inférieure du cylindre central. Dans tous les cas, l'arc d'endoderme superposé accroît ses cellules et dédouble de très bonne heure ses éléments médians, de manière à former une poche digestive simple à la base, double au sommet. Plus tard l'assise interne (et parfois aussi l'externe) de la poche se divise de nouveau autour du sommet, de sorte que la poche est triple (ou quadruple) à son extrémité avant la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle a pris au sommet quatre ou cinq cloisons tangentielles. Son écorce, terminée par une initiale accompagnée de chaque côté par un segment indivis,

s'est cloisonnée quatre à cinq fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Son cylindre central a deux initiales au sommet (1).

Juglandées (pl. VII, fig. 91). — La racine terminale du *Pterocaya caucasica* a, sous l'assise pilifère, cinq assises de cellules corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux non confluents et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend souvent huit cellules, quatre de chaque côté du vaisseau externe d'un faisceau ligneux. Ces cellules se cloisonnent deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions, suivant la règle ordinaire. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les divise par des cloisons radiales et forme autour de la radicelle une poche digestive simple, digérée à la base avant la sortie.

La racine terminale du *Juglans nigra* a une écorce épaisse, composée d'une trentaine d'assises cellulaires dont la dernière est l'endoderme (fig. 91). Le cylindre central a quatre faisceaux ligneux disposés autour d'une large moelle, quatre faisceaux libériens fortement étalés tangentiellement, et un péricycle épais, composé de huit à dix assises de petites cellules en dehors des faisceaux ligneux, de trois à cinq assises de cellules plus grandes en dehors des tubes criblés les plus externes des faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu s'appuie sur un faisceau ligneux, accroît et cloisonne toutes ses assises pour former un mamelon. C'est l'assise externe seule qui, par deux cloisonnements successifs, sépare l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. Toutes les autres assises forment ensemble la région inférieure et

(1) D'après M. Flahault, la racine terminale embryonnaire des Cupulifères (*Fagus*, *Corylus*, *Quercus*, *Castanea*) n'aurait au sommet qu'un groupe d'initiales communes à ses trois régions (*loc. cit.*, p. 153). On voit, au contraire, que les radicelles de ces plantes (*Alnus*, *Betula*, *Corylus*, *Quercus*, *Castanea*) ont trois sortes d'initiales distinctes; il est vrai que, dans les *Quercus*, ces initiales sont moins nettement séparées, mais on les distingue pourtant avec de l'attention.

interne, au début la plus volumineuse, du cylindre central. Les trois régions sont d'ailleurs peu distinctes dans cette radicelle. L'arc endodermique superposé dilate ses cellules et ne les cloisonne que radialement, de manière à envelopper la radicelle d'une poche digestive simple, qui est digérée à la base par l'élargissement de l'écorce, avant la sortie de la radicelle.

On voit que les *Pterocarya* et les *Juglans*, malgré la grande différence de constitution du péricycle de leur racine terminale, forment leurs radicelles de la même manière, c'est-à-dire aux dépens d'une seule assise cellulaire et avec une poche digestive simple. Partout aussi, les initiales des trois régions de la radicelle sont distinctes (1).

Santalacées (pl. VII, fig. 92). — Une racine de *Thesium humifusum* a, sous l'assise pilifère et l'assise subéreuse, six assises corticales dont la dernière est un endoderme à plissements bien marqués. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux non confluents et deux faisceaux libériens, avec une petite moelle au centre. L'arc péricyclique rhizogène comprend sept cellules sur la section transversale, cinq d'un côté d'un faisceau ligneux, deux de l'autre côté. Ces cellules s'accroissent radialement et par deux cloisons tangentielles séparent, comme d'ordinaire, les trois régions de la radicelle. Celle-ci se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 35 à 40 degrés; toutes ensemble les radicelles sont donc disposées en quatre séries rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux.

L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules et les divise d'abord par des cloisons radiales pour former une poche simple; mais bientôt elle les divise aussi

(1) M. Flahault dit que dans la racine terminale embryonnaire des *Juglans* et *Carya*, l'écorce a au sommet huit ou dix assises d'initiales, qui se confondent en bas avec celles du cylindre central, en haut avec celles de la calyptre (*loc. cit.*, p. 152). Suivant nous, l'écorce n'a qu'un seul rang d'initiales; la chose est évidente dans le *Pterocarya*; il faut plus d'attention pour la voir dans le *Juglans*, à cause de la moindre différenciation des trois régions.

tangentiellement une ou deux fois et la poche est double ou triple au sommet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris trois ou quatre cloisons tangentielles vers l'extrémité. Son écorce, terminée par une seule initiale accompagnée d'un segment entier, s'est aussi divisée trois ou quatre fois vers la base où, à travers l'épistèle assez développée, elle raccorde son endoderme avec celui de la racine mère par l'intermédiaire des cellules triplissées. Son cylindre central se termine aussi par une seule initiale.

Les racines des Santalacées produisent, comme on sait, des suçoirs qui s'introduisent dans les racines des végétaux divers dont ces plantes font leur nourriture. D'après les recherches récentes de M. Leclerc du Sablon (1) et de M. Granel (2), ces suçoirs sont exogènes, disposés d'une manière quelconque par rapport aux faisceaux ligneux et libériens du cylindre central de la racine mère et n'ont en aucune façon la structure d'une racine. Ce ne sont donc pas des membres de même nature que les radicelles, puisque les radicelles de ces mêmes plantes ont, ainsi qu'on vient de le voir et comme partout ailleurs, l'origine péricyclique, la disposition quadrisériée sur une racine mère binaire et la structure normale de la racine. Ces suçoirs sont donc simplement des émergences de la racine.

Aristolochiacées (pl. VII, fig. 93-94). — Entre l'assise pilifère et l'endoderme, la racine terminale de l'*Aristolochia Clematitis* a cinq ou six assises corticales. Son cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux rangs de cellules conjonctives. Chaque faisceau ligneux commence par une rangée tangentielle de trois ou cinq vaisseaux étroits et se continue ensuite

(1) Leclerc du Sablon, *Recherches sur les organes d'absorption des plantes parasites* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, VI, p. 90, 1887).

(2) Granel, *Sur l'origine des suçoirs de quelques phanérogames parasites* (*Bull. de la Soc. bot. de France*, XXXIV, p. 313, 1887).

vers le centre par deux vaisseaux plus larges superposés radialement (1).

L'arc péricyclique rhizogène comprend, par exemple, six cellules, quatre d'un côté d'un faisceau ligneux, deux de l'autre côté. Ces cellules se cloisonnent deux fois tangentiellement suivant la règle, pour séparer les trois régions de la radicelle, dont la déviation est d'environ 35 degrés. Il en résulte que, sur cette racine mère binaire, toutes les radicelles sont disposées en quatre rangées rapprochées deux par deux. Les cellules endodermiques correspondantes se dilatent, prennent des cloisons radiales et forment autour de la radicelle une poche digestive simple dont la base est incorporée au moment de la sortie, dans toute la longueur d'une des cellules primitives, tandis que le reste en est détaché par le développement en épaisseur de l'écorce à ce niveau. L'épiderme de la radicelle en voie de sortie s'est divisé tangentiellement deux fois sous la poche; son écorce, terminée par deux initiales avec deux segments indivis, s'est cloisonnée trois ou quatre fois à la base, où s'établit le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Les radicelles primaires sont donc disposées sur la racine terminale en quatre séries, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux; comme elles chevauchent notablement sur le faisceau ligneux, s'il en naît deux à la même hauteur en correspondance avec le même faisceau ligneux, elles s'unissent en une radicelle double insérée exactement en face du faisceau ligneux, phénomène que nous avons, en effet, observé plusieurs fois dans cette plante.

Une racine latérale d'*A. Clematitis* a, sous l'assise pilifère, dix-huit à vingt assises corticales, dont la plus interne est l'endoderme. Son cylindre central a cinq faisceaux ligneux et cinq faisceaux libériens alternes disposés en cercle autour d'une large moelle, et un péricycle double en dehors des faisceaux ligneux, simple en dehors des faisceaux libériens.

(1) Voy. Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 257, 1871).

L'arc péricylique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît ses deux rangs; mais c'est le rang externe seul qui, par deux cloisonnements tangentiels, sépare les trois régions; le rang interne ne produit que la région inférieure, au début la plus volumineuse, du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et forme une poche digestive qui, au lieu de rester simple comme autour des radicelles de la racine terminale, se cloisonne tangentiellement deux fois autour du sommet et y devient triple ou même quadruple avant la sortie. L'épaisseur plus grande de la poche digestive est ici en rapport avec l'épaisseur plus grande de l'écorce à digérer. Malgré le cloisonnement de la poche, l'épiderme se divise de bonne heure, et son assise externe se dédouble de nouveau. L'écorce, au contraire, terminée par une initiale accompagnée d'un segment indivis, se cloisonne lentement et demeure longtemps mince à la base.

Une racine latérale d'*Asarum europœum* a, dans son cylindre central, un péricycle simple, trois faisceaux ligneux courts et trois petits faisceaux libériens alternes, disposés en cercle autour d'une large moelle. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, sépare les trois régions de la radicelle avec leurs initiales par deux cloisons tangentielles successives. L'endoderme dilate en même temps ses cellules et forme une poche digestive d'abord simple, qui ne se dédouble qu'assez tard une ou deux fois de suite autour du sommet, en même temps que sa région inférieure simple est digérée par l'épaississement de l'écorce. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné tangentiellement trois fois. Son écorce, terminée par une initiale accompagnée d'un ou deux segments indivis, s'est divisée quatre fois vers la base où s'opère le raccord des endodermes (1).

Datiscées (pl. VII, fig. 95-96). — Une radicelle de *Datisca*

(1) D'après M. Flahault, la racine terminale embryonnaire des *Aristolochia* et *Asarum* aurait au sommet un groupe d'initiales communes à ses trois régions (*loc. cit.*, p. 135). D'après M. Holle, l'*Asarum* aurait, au contraire, trois

cannabina a, sous l'assise pilifère, dix assises corticales dont l'interne est un endoderme plissé. Le cylindre central a six faisceaux ligneux unisériés, autant de faisceaux libériens alternes ayant chacun un gros tube criblé au milieu de son bord externe, et une large moelle. Le péricycle est triple et parfois double en face des faisceaux ligneux, double et quelquefois simple en face des faisceaux libériens.

L'arc rhizogène péricyclique, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît et cloisonne ses trois rangs de cellules. Suivant les radicelles étudiées, le rôle des deux assises externes est différent. Tantôt l'assise extérieure, par une cloison tangentielle, sépare l'écorce en dedans, l'épiderme en dehors, tandis que la médiane produit le sommet du cylindre central avec son initiale (fig. 96). Tantôt l'assise extérieure, par deux cloisons tangentielles successives, sépare d'abord en bas le sommet du cylindre central, puis l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle, tandis que la médiane ne produit que la région inférieure du cylindre central (fig. 95). Dans tous les cas, l'assise interne, quand il y en a trois, ne donne que la base du cylindre. Ces deux manières d'être se rencontrent non seulement dans les radicelles d'une même racine mère, mais encore sur deux radicelles issues de cette racine côte à côte au même niveau et que la même section coupe suivant leur axe. La première paraît plus fréquente que la seconde; nous l'avons observée sept fois sur dix radicelles étudiées.

L'arc d'endoderme superposé se développe autour de la radicelle en une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la sortie, où elle est digérée autour de la base. A ce moment, l'épiderme de la radicelle, simple sur les flancs, a pris au sommet deux ou trois cloisons tangentielles; son écorce, terminée par une paire d'initiales, s'est divisée trois fois à la base, où se fait le raccord des endodermes; son cylindre central a une seule initiale au sommet.

sortes d'initiales distinctes. On voit que les radicelles de ces plantes ont des initiales propres pour leurs trois régions; elles sont seulement moins différenciées dans l'*Aristolochia* que dans l'*Asarum*.

III. — DIALYPÉTALES SUPÉROVARIÉES.

Renonculacées (pl. VII, fig. 97-100). — Les Renonculacées ont leur racine terminale binaire et y produisent leurs radicelles primaires en quatre séries, plus ou moins rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux.

La racine terminale du *Ranunculus hirsutus*, par exemple, a sous l'assise pilifère six à huit assises corticales dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux courts, non confluents au centre, et deux faisceaux libériens arrondis séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux assises conjonctives. L'arc péricyclique rhizogène comprend, par exemple, six cellules, quatre d'un côté d'un faisceau ligneux, deux seulement de l'autre côté. Ces cellules grandissent radialement et se cloisonnent deux fois tangentiellement, suivant la règle, pour séparer les trois régions de la radicelle, dont la déviation varie entre 30 et 40 degrés. L'arc d'endoderme superposé, formé de quatre ou cinq cellules, dilate ses éléments et les cloisonne d'abord radialement, en formant une poche simple; mais bientôt il s'y fait autour du sommet et progressivement de dehors en dedans trois ou quatre cloisons tangentielles, de manière que la poche digestive possède à son extrémité quatre ou cinq épaisseurs de cellules cubiques. C'est cette poche épaisse qui attaque et digère l'écorce de la racine mère. Avant la sortie, son assise externe se détache au niveau du premier dédoublement et sa région inférieure simple est incorporée à la radicelle; souvent même la seconde assise se détache aussi et l'assise interne est incorporée dans l'intervalle. Au moment de la sortie, l'épiderme de la radicelle est souvent encore simple sous cette poche épaisse; quelquefois il a pris un cloisonnement tangentiel et séparé une future calotte de calyptre. L'écorce, terminée par une ou deux initiales avec un ou deux segments indivis, ne s'est cloisonnée qu'une ou deux fois vers la base, où le raccord des endodermes s'opère par les cellules

triplissées. On voit qu'ici le cloisonnement tangentiel de l'épiderme et celui de l'écorce se trouvent fort retardés par l'épaisseur de la poche digestive.

Même structure du pivot et même formation des radicelles avec poche digestive incorporée à la base dans les autres *Ranunculus;* mais il y a, suivant les espèces, de notables différences dans l'épaisseur de la poche. Ainsi, dans le *R. Flammula* (fig. 99), la poche est simple sur les flancs et triple ou quadruple au sommet, comme dans le *R. hirsutus*. Mais dans le *R. Thomasii* (fig. 98) et le *R. lametocarpus*, l'arc d'endoderme se dédouble de bonne heure dans toute son étendue et la poche, double ou triple dès la base, compte six à huit assises au sommet au moment de la sortie de la radicelle. Dans le *R. sericeus* (fig. 97), au contraire, la poche demeure plus longtemps simple, ne se dédouble qu'assez loin de la base et ne compte que deux ou trois assises au sommet au moment de la sortie de la radicelle. Enfin, dans le *R. Lingua*, la poche reste simple indéfiniment, jusqu'après la sortie. Ce ne sont là que des différences secondaires, mais elles influent sur la précocité du cloisonnement de l'épiderme, qui demeure longtemps simple dans le *R. Thomasii*, par exemple, qui se cloisonne, au contraire, de bonne heure dans le *R. sericeus* et le *R. Lingua*.

La racine terminale de l'*Adonis flammea* a la même structure binaire avec un péricycle simple, deux faisceaux ligneux non confluents et deux faisceaux libériens arrondis. La radicelle s'y forme de la même manière aux dépens d'un arc péricyclique dont le milieu est situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux, de sorte qu'elle fait une déviation d'environ 35 degrés. L'arc d'endoderme s'y développe aussi en une poche incorporée à la base et épaisse au sommet, où elle compte quatre assises avant la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle est ordinairement encore indivis, et son écorce, terminée par deux grandes initiales, ne s'est divisée qu'une ou deux fois vers la base.

La racine terminale du *Clematis recta* a aussi la structure binaire avec un péricycle simple tout autour. L'arc rhizogène

chevauche notablement sur le faisceau ligneux, ce qui rend la déviation petite. L'endoderme forme une poche simple à la base, triple au sommet au moment de la sortie. Sous cette poche, l'épiderme de la radicelle n'a pris qu'une seule cloison tangentielle; son écorce, terminée par une seule initiale, ne s'est divisée que deux fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Même structure binaire de la racine terminale, avec faisceaux ligneux courts non confluents et faisceaux libériens arrondis, même origine et même disposition des radicelles dans l'*Anemone albana*, les *Aquilegia fragrans* et *Sternbergii*, le *Delphinium ochroleucum*, le *Pæonia bannatica*, l'*Isopyrum fumarioides*, les *Nigella damascena* et *orientalis*, l'*Helleborus fœtidus* et le *Thalictrum nigrum*. Toutefois, dans les *Nigella* et *Helleborus*, par exemple, la poche endodermique est d'abord simple, mais plus tard elle s'épaissit et se cloisonne un sommet, où elle compte trois ou quatre rangs de cellules au moment de la sortie (fig. 100). Dans le *Thalictrum*, la poche paraît même rester simple jusqu'à la sortie; par contre, l'épiderme de la radicelle, qui d'ordinaire demeure indivis jusqu'à ce moment, prend ici deux cloisons tangentielles autour du sommet.

En raison du chevauchement assez fréquent de l'arc rhizogène sur le faisceau ligneux correspondant et de la petitesse de la déviation qui en résulte, la production de radicelles doubles, situées exactement en face des faisceaux ligneux, s'observe assez souvent dans les divers genres de Renonculacées.

Une racine latérale de *Ranunculus Flammula* a dans son cylindre central trois faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens. Les radicelles s'y forment comme il a été dit plus haut pour la racine terminale, mais elles sont disposées en trois rangées, suivant la règle isostique.

Une racine latérale de *Clematis montana* a dans son écorce quinze assises cellulaires dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a trois faisceaux ligneux séparés au centre

par une large moelle, trois faisceaux libériens et un péricycle triple en face des faisceaux ligneux, simple en dehors des faisceaux libériens. Pour former une radicelle, un arc de péricycle, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, agrandit et cloisonne ses cellules; ce sont les cellules du rang externe, plus grandes que celles des deux autres, qui se divisent tangentiellement deux fois pour séparer les trois sortes d'initiales; les deux autres assises ne produisent que la base du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé développe ses cellules et les dédouble tangentiellement dans toute sa largeur, de manière à envelopper la radicelle d'une poche digestive double dans toute son étendue. Plus tard, cette poche se divise encore une ou deux fois autour du sommet, de manière à y posséder trois ou quatre assises. Au moment de la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné tangentiellement environ huit fois au sommet, pour former sous la poche une épaisse calyptre. L'écorce, terminée par une ou deux initiales, s'est divisée six ou sept fois à la base, où s'établit le raccord des deux endodermes par les cellules triplissées. Les radicelles primaires des racines adventives se distinguent donc de celles de la racine terminale surtout par l'épaisseur plus grande de l'épiderme au sommet, ou, si l'on veut, par une calyptre plus épaisse (1).

La disposition toujours tétrastique des radicelles primaires sur la racine terminale des Renonculacées a échappé à M. Clos. Ce botaniste y admet le plus souvent deux rangs de radicelles, quelquefois trois ou quatre (*loc. cit.*, p. 11). La cause de

(1) M. Eriksson attribue aux racines des Renonculacées un groupe d'initiales communes à la coiffe, à l'écorce et au cylindre central. M. Flahault (*loc. cit.*, p. 121) admet aussi cette confusion des initiales dans la racine terminale embryonnaire de ces plantes; il reconnaît pourtant que, dans quelques genres (*Garidella*, *Adonis*, *Anemone*), les initiales des trois régions sont distinctes. D'après nos observations, une fois qu'on a fait le départ de ce qui revient à la poche digestive, la radicelle a toujours ses trois sortes d'initiales distinctes, et il n'y a qu'une assise d'initiales pour l'écorce. Seulement, ces initiales sont peu différenciées, et pour les distinguer, il faut non seulement de l'attention, mais encore de bonnes préparations convenablement colorées.

cette erreur est sans doute dans la petitesse assez fréquente de la déviation et dans la production des radicelles doubles.

Anonacées (pl. VIII, fig. 101). — Une racine d'*Anona Cheirimolia* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse très différenciée et quatorze assises cellulaires dont l'interne est l'endoderme. Son cylindre central a deux larges faisceaux ligneux non confluents et deux faisceaux libériens, dans chacun desquels il se fait plus tard un paquet de fibres en dedans des tubes criblés. M. Russow a signalé depuis longtemps (1875) la présence de fibres libériennes primaires dans ce genre. Le péricycle y est ordinairement double en dehors des faisceaux ligneux, simple en face des faisceaux libériens.

Pour former une radicelle, un arc péricyclique comprenant sept cellules, toutes situées du même côté d'un des faisceaux ligneux, agrandit et cloisonne ses éléments. Mais ce sont les cellules du rang externe qui se divisent à deux reprises tangentiellement pour séparer les trois régions avec leurs initiales. Autour du mamelon radicellaire, qui se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 45 degrés, l'endoderme agrandit ses cellules et les divise seulement par des cloisons radiales, de manière à former une poche digestive simple; la cellule terminale seule est dédoublée tangentiellement. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris huit à dix cloisons tangentielles au sommet et formé ainsi une épaisse calyptre. L'écorce, terminée par deux initiales peu distinctes de celles de l'épiderme et du cylindre central, s'est divisée sept ou huit fois vers la base, où s'établit, à travers l'épistèle, le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Même formation de la radicelle, aux dépens de l'assise externe d'un péricycle double, dans une racine latérale ternaire d'*Asimina triloba*, où les faisceaux libériens sont dépourvus de fibres, même après l'apparition des productions secondaires. Mais ici les radicelles sont disposées en trois rangées, vis-à-vis des faisceaux ligneux. Toutefois, si l'on étudie la région où deux des faisceaux ligneux se rapprochent

pour se fusionner après la cessation du faisceau libérien qui les sépare, ce qui rend la racine binaire, on voit que l'arc rhizogène se place latéralement par rapport au troisième faisceau : nouvel exemple de l'introduction de la disposition diplostique dans la structure ternaire quand elle est sur le point de devenir binaire. Comme dans l'*Anona*, la radicelle sortante est enveloppée d'une poche simple, dédoublée seulement au sommet; son épiderme a pris de nombreuses cloisons tangentielles autour de l'extrémité et, sous cette épaisse calyptre, les initiales des trois régions sont peu différenciées; il faut de l'attention pour les distinguer.

Magnoliacées (pl. VIII, fig. 102). — Une racine adventive de *Magnolia grandiflora*, ou de *M. Coco*, a, sous l'assise pilifère, douze assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central possède six faisceaux ligneux séparés au centre par une large moelle, six faisceaux libériens alternes et un péricycle double en dehors des faisceaux ligneux, simple vis-à-vis des faisceaux libériens.

Pour former une radicelle, un arc de péricycle dont le milieu correspond à un faisceau ligneux accroît et cloisonne ses deux rangs de cellules. Les cellules du rang externe se divisent par deux cloisons tangentielles et produisent les trois sortes d'initiales; celles du rang interne ne forment que la base de la radicelle. L'arc d'endoderme correspondant agrandit ses cellules, les cloisonne radialement, et enveloppe le mamelon d'une poche digestive d'abord simple; bientôt cette poche agrandit radialement ses cellules tout autour du sommet et les cloisonne tangentiellement un assez grand nombre de fois, de manière à acquérir environ dix assises d'épaisseur avant la sortie de la radicelle. Plus tard, elle est incorporée dans sa région inférieure simple. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est divisé huit à dix fois tangentiellement pour former une épaisse calyptre. A ce moment, la coiffe de la radicelle, composée de la poche et de la calyptre, compte donc au sommet dix-huit à vingt assises. L'écorce, terminée par une ou deux

initiales avec un ou deux segments indivis, s'est cloisonnée tangentiellement cinq ou six fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées (1).

La formation des radicelles de cette plante ressemble donc beaucoup à celle des Clématites, avec une épaisseur plus grande de la poche digestive au sommet.

Monimiacées (pl. VIII, fig. 103). — Une racine latérale de *Peumus Boldus* (*Boldoa fragrans*) a son écorce composée d'une vingtaine d'assises cellulaires, dont l'avant-dernière épaissit ses membranes sur la face externe et sur les faces latérales et dont la dernière constitue l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle double, trois faisceaux ligneux séparés au centre par une moelle et trois faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, agrandit et cloisonne ses deux rangs; mais c'est le rang externe seul, qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare les trois régions avec leurs initiales; le rang interne ne donne que la partie inférieure du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et forme autour de la radicelle une poche digestive, qui demeure simple dans toute son étendue ou ne se cloisonne tangentiellement qu'une fois vers le sommet. C'est cette poche qui digère, d'abord l'assise sus-endodermique avec ses épaississements externes, puis tout le reste de l'écorce.

Une autre racine de la même plante, qui a la structure binaire, produit ses radicelles de la même manière, en les

(1) D'après M. Eriksson et M. Flahault (*loc. cit.*, p. 124), la racine des Magnoliacées aurait au sommet un groupe d'initiales communes aux trois régions. On voit que les radicelles, une fois fait le départ de la poche digestive, ont les trois sortes d'initiales distinctes; il n'y a même qu'une rangée d'initiales pour l'écorce; mais l'épiderme se cloisonne abondamment pour former une épaisse calyptre. Il est vrai que les initiales sont peu différenciées et qu'il faut de l'attention pour les reconnaître; il est vrai aussi que la limite de la poche et de la calyptre, facile à voir sur les flancs, grâce aux marques noires des cellules endodermiques, est plus difficile à tracer au sommet, où ces marques noires sont ordinairement effacées; mais on parvient à la fixer avec certitude en suivant les divers états du développement.

entourant d'une poche digestive simple, mais les dispose de part et d'autre des faisceaux ligneux, c'est-à-dire en quatre rangées.

Calycanthées (pl. VIII, fig. 104). — La racine terminale du *Calycanthus floridus* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse très différenciée, suivie d'environ douze assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a quatre faisceaux ligneux rapprochés deux par deux, séparés au centre par une large moelle, quatre faisceaux libériens dont deux plus larges dans les grands intervalles des faisceaux ligneux et deux plus étroits dans les petits intervalles, et un péricycle double partout, mais formé de cellules plus petites en dehors des faisceaux ligneux, plus grandes vis-à-vis des faisceaux libériens. Au collet, les deux faisceaux libériens étroits disparaissent et les deux larges se dédoublent tangentiellement en écartant leurs deux moitiés. Puis les quatre faisceaux ligneux tournent sur eux-mêmes et se disposent la pointe en dedans contre le bord interne des quatre faisceaux libériens ainsi formés. Au sommet de la tigelle, les cotylédons s'insèrent non pas, suivant la règle ordinaire, en face de deux faisceaux ligneux de la racine terminale, mais bien en face des deux petits intervalles de ces faisceaux occupés par les deux faisceaux libériens étroits. La même disposition s'observe dans le *Chimonanthus fragrans*. De là une exception, jusqu'à présent unique chez les Dicotylédones (1). C'est là peut-être le caractère le plus singulier de ces plantes, qui se distinguent déjà, comme on sait, de toutes les autres Dicotylédones par les quatre faisceaux corticaux inverses de leur tige.

Pour former une radicelle, un arc de péricycle dont le milieu correspond à l'un des faisceaux ligneux agrandit radialement et cloisonne ses cellules. Celles du rang externe pren-

(1) Ce caractère remarquable a échappé à M. Lignier, auteur d'une monographie anatomique des Calycanthées récemment publiée (*Recherches sur l'anatomie comparée des Calycanthées, des Mélastomacées et des Myrtacées*. Thèse, Paris, 1887).

nent deux cloisons tangentielles successives, qui séparent les trois régions avec leurs initiales; celles du rang interne ne forment que la partie inférieure du cylindre central. L'arc d'endoderme correspondant dilate ses cellules et forme autour du mamelon une poche digestive d'abord simple, mais qui ne tarde pas à prendre autour du sommet une cloison tangentielle; chaque calotte se dédouble ensuite de nouveau, de sorte qu'avant la sortie de la radicelle, la poche digestive compte au sommet quatre et quelquefois cinq ou six assises; plus tard elle est incorporée dans sa région inférieure simple. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris à l'extrémité quatre ou cinq cloisons tangentielles et formé sous la poche une calyptre assez épaisse. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée aussi quatre ou cinq fois vers la base, où s'opère, à travers une épistèle assez développée, le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Dans une autre racine de la même plante, le péricycle était simple tout autour et la radicelle s'y formait, suivant la règle, aux dépens d'un arc rhizogène contenant douze à quatorze cellules (fig. 104).

Ici, comme partout ailleurs, la radicelle se forme donc tout entière dans le péricycle. L'endoderme de la racine mère borne son rôle à la revêtir d'une poche digestive. On voit combien est erronée l'assertion de M. Lignier, d'après laquelle le cylindre central seul de la radicelle se formerait aux dépens du péricycle, tous les tissus extérieurs aux dépens de l'endoderme (*loc. cit.*, p. 147, fig. 3, pl. 8).

Les radicelles primaires sont donc disposées sur la racine terminale en quatre rangées, rapprochées deux par deux, et les cotylédons correspondent non pas à deux de ces rangées, comme c'est la règle ordinaire, mais aux deux petits intervalles qui les séparent.

Ménispermées (pl. VIII, fig. 105). — Une racine latérale de *Menispermum canadense* a, sous l'assise pilifère, dix à douze assises corticales, dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre

central a un péricycle simple, trois faisceaux ligneux confluents et trois faisceaux libériens alternes (1). L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît ses cellules radialement et les divise deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. L'endoderme dilate ses cellules autour du mamelon et les cloisonne plus tard une ou deux fois tangentiellement autour du sommet, de manière à former une poche digestive simple à la base, double ou triple à l'extrémité. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné tangentiellement trois ou quatre fois au sommet sous la poche. Son écorce, terminée par une initiale et un segment entier, s'est divisée trois ou quatre fois à la base, où s'opère, à travers une courte épistèle, le raccord des endodermes.

Berbéridées (pl. VIII, fig. 106). — Une racine d'*Epimedium alpinum* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse fortement différenciée et six assises corticales, dont la dernière est un endoderme à grandes cellules munies de larges plissements en face des faisceaux libériens, à cellules plus petites pourvues de plissements étroits en regard des faisceaux ligneux. Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, deux faisceaux ligneux séparés au centre par une moelle et deux faisceaux libériens alternes, étroits et arrondis, comme chez les Renonculacées.

Pour former une radicelle, un arc de péricycle, situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux, agrandit ses cellules et les cloisonne tangentiellement à deux reprises, pour dégager les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. Le mamelon ainsi constitué s'avance dans l'écorce avec une déviation d'environ 45 degrés; les radicelles sont donc disposées, sur cette racine binaire, en quatre séries équidistantes. Vis-à-vis de la radicelle, l'endoderme dilate ses cellules, et plus tard les cloisonne tangentiellement deux et trois fois

(1) Voy. Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 256, 1871).

autour du sommet, de manière à former une poche digestive qui compte trois ou quatre assises à son extrémité. Avant la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est divisé une ou deux fois tangentiellement; son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée quatre fois vers la base, où s'opère le raccord des deux endodermes.

Même structure binaire de la racine et même mode de formation des radicelles, avec une déviation de 45 degrés, dans le *Berberis nepalensis*. Ici aussi la poche digestive endodermique, simple à la base, compte trois ou quatre assises au sommet. Sous cette poche, les initiales de l'épiderme, de l'écorce et du cylindre central, bien que distinctes, sont moins différenciées que dans les *Epimedium* (1).

Lardizabalées. — Une racine latérale de *Lardizabala triternata* a, sous l'assise pilifère, dix assises corticales, dont la dernière est un endoderme à petites cellules munies de courts plissements. Le cylindre central a un péricycle double tout autour, trois faisceaux ligneux courts et larges, composés d'un rang de trois vaisseaux étroits et d'un gros vaisseau en dedans, trois faisceaux libériens alternes et une moelle épaisse. L'arc rhizogène péricyclique, dont le milieu correspond d'ordinaire à un faisceau ligneux, comprend neuf cellules dans son assise externe; il accroît radialement et cloisonne ses deux rangs de cellules; mais c'est le rang externe seul qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare d'abord en bas le sommet du cylindre central avec son initiale, puis au milieu l'écorce et en haut l'épiderme; le rang interne ne donne que la partie inférieure du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise d'abord par des parois radiales pour former une poche digestive simple; puis cette poche se dédouble autour de l'extrémité par une cloison tangentielle; plus tard elle est incorporée à la base

(1) Aussi, d'après M. Flahault, la racine terminale embryonnaire des *Berberis* et *Mahonia* aurait-elle au sommet un groupe d'initiales communes à ses trois régions (*loc. cit.*, p. 124).

dans sa région simple. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris cinq cloisons tangentielles autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par une paire d'initiales, s'est cloisonnée trois ou quatre fois tangentiellement vers la base, où se fait le raccord des endodermes. Son cylindre central se termine par une seule initiale.

Quand la radicelle se forme dans la région où cette racine ternaire se dispose à devenir binaire en perdant un de ses faisceaux ligneux, l'arc rhizogène se place latéralement par rapport au faisceau ligneux, et il y a une déviation notable. C'est un fait dont nous avons déjà signalé plusieurs exemples et qui pourrait induire en erreur, si l'on n'en appréciait pas la cause.

Lauracées. — La racine terminale du *Cinnamomum Camphora* a, sous l'assise pilifère à parois brunes, huit assises cellulaires dont la dernière est un endoderme à membranes un peu épaissies en regard des faisceaux libériens. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux presque confluents au centre et deux faisceaux libériens séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux assises conjonctives. Pour former une radicelle, un arc de péricycle, situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux, agrandit radialement et cloisonne tangentiellement ses cellules à deux reprises, séparant ainsi les trois régions de la radicelle; le mamelon radicellaire se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 40 degrés. L'endoderme dilate ses cellules autour du mamelon et enveloppe la radicelle d'une poche digestive, qui paraît demeurer simple jusqu'au moment de la sortie.

Une racine latérale de *Laurus indica* a, dans son écorce, une vingtaine d'assises; la plus interne est un endoderme à parois minces ; les deux ou trois assises corticales qui touchent cet endoderme épaississent leurs parois et forment un anneau scléreux, plus mince et même assez régulièrement interrompu en face des faisceaux ligneux. Le cylindre central a six faisceaux ligneux séparés au centre par une large

moelle, six faisceaux libériens alternes et un péricycle composé de quatre rangs en dehors des faisceaux ligneux, de deux ou trois rangs en face des faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène appuie son milieu sur un faisceau ligneux et cloisonne toutes ses cellules. Mais c'est le rang externe qui, par deux cloisons tangentielles, donne à la fois l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central avec son initiale; les trois autres rangs ne produisent que la base du cylindre. L'endoderme dilate ses cellules et forme autour de la radicelle une poche digestive, simple à la base où elle est plus tard incorporée, mais se divisant progressivement plus haut, de manière à avoir quatre ou cinq rangs au sommet. C'est cette poche qui digère d'abord les cellules scléreuses situées vis-à-vis du mamelon, puis progressivement toutes les assises de l'épaisse écorce. Avant la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné à plusieurs reprises tangentiellement, de manière à former sous la poche une épaisse calyptre. A ce moment, les initiales des trois régions sont assez difficiles à distinguer.

Nymphéacées (p. VIII, fig. 107-113). — Sous l'assise pilifère et l'assise subéreuse, l'écorce épaisse de la racine du *Nuphar luteum* se compose d'un parenchyme lacuneux dont les cellules unisériées sont ajustées en un réseau à mailles souvent hexagonales : chaque maille est alors formée de six cellules plus grosses qui en occupent les sommets et de six cellules plus petites au milieu des côtés; çà et là l'une de ces dernières proémine dans la maille et s'y ramifie en dichotomie répétée, enchevêtrant ses branches et en soudant les extrémités au pourtour de la lacune, de manière à la boucher entièrement; il en résulte autant de faux diaphragmes (1). Cette écorce lacuneuse se termine en dedans par un endo-

(1) Ces faux diaphragmes, déjà signalés par M. Trécul, sont donc autant de poils internes rameux. Ils ne diffèrent des poils internes étoilés du pétiole et du pédicelle floral que par la grosseur, la mollesse et l'enchevêtrement de leurs branches, dont les extrémités se soudent en définitive tout autour aux

derme plissé. Le cylindre central a un péricycle simple, un certain nombre de faisceaux ligneux unisériés dont le vaisseau le plus externe s'appuie contre une cloison du péricycle, huit, par exemple, séparés au centre par une moelle et autant de faisceaux libériens alternes (1).

L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, prend ordinairement quatre cellules, deux de chaque côté du vaisseau externe. Ces cellules s'agrandissent radialement et se divisent par une cloison tangentielle, qui sépare en dedans le cylindre central (fig. 107); puis le rang externe se dédouble par une nouvelle cloison tangentielle et produit l'écorce en dedans, l'épiderme en dehors (fig. 108). Cette seconde cloison est moins bombée que la première, et n'intéresse que les deux cellules médianes du mamelon; les cellules latérales forment l'épistèle. Il en résulte que les cellules extrêmes de l'épiderme se terminent en biseau et peuvent se détacher facilement de celles de l'écorce sous-jacente; on reviendra tout à l'heure sur ce point. Le mamelon radicellaire ainsi formé presse à la fois en dedans sur le faisceau ligneux, qui s'incurve vers l'intérieur et dont les deux ou trois vaisseaux externes sont écrasés et oblitérés, et en dehors sur l'endoderme, qui dilate les cinq cellules correspondantes et les divise par des cloisons radiales, elles-mêmes pourvues de plissements et de marques noires. Il se fait ainsi autour du mamelon radicellaire une poche digestive, qui dissout l'écorce à mesure que la radicelle s'accroît et qui demeure simple jusqu'à la sortie (fig. 109 et 110). Un peu avant la sortie, cette poche est dissoute suivant un anneau voisin de sa base; les cellules basilaires inférieures à cet anneau sont incorporées à la radicelle, et le reste forme un bonnet à bord libre. La radicelle s'allonge alors par croissance intercalaire à la base; sa région inférieure, située au-dessous de la séparation de l'épi-

parois de la lacune [Trécul, *Recherches sur la structure et le développement du Nuphar luteum* (*Ann. des sc. nat.*, 3e série, IV, 1845)].

(1) Pour la structure de la racine des *Nuphar* et *Nymphæa*, voy. Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.* p. 267, 1871).

derme, est grêle; les cellules périphériques de l'épistèle s'y prolongent en papilles et en poils qui attaquent et digèrent tout autour l'écorce de la racine mère. Son extrémité supérieure est au contraire renflée en forme de gland. Là l'épiderme s'est détaché par son bord en biseau du reste de la racine; il a pris successivement vers le sommet six cloisons tangentielles centripètes, de manière à former une calyptre dont les six calottes concentriques sont peu adhérentes entre elles. Au-dessous de lui, l'écorce, terminée par deux grandes initiales, s'est divisée une dizaine de fois vers la base de la région renflée; tandis que tout à la base de la partie grêle, l'épistèle se réduit à deux ou trois assises dont la dernière, qui est l'endoderme, se raccorde à l'endoderme de la racine mère par les cellules triplissées.

Après la sortie de la radicelle, une fois exfolié le bonnet issu de la poche endodermique, la première calotte de calyptre s'exfolie en entraînant le manchon d'épiderme situé au-dessous de son bord inférieur, manchon dont le bord inférieur est lui-même déjà détaché, comme il a été dit plus haut; la seconde calotte fait de même un peu plus tard, et ainsi de suite (fig. 111). En sorte que l'épiderme de la racine se détache et s'exfolie tout entier avec la calyptre. Ce caractère remarquable établi, comme on sait, par l'un de nous il y a déjà deux ans, sépare les Nymphéacées de toutes les autres Dicotylédones et les rapproche des Monocotylédones (1).

La racine du *Nymphæa rubra* produit ses radicelles de la même manière (fig. 112), c'est-à-dire avec une poche endodermique simple plus tard détachée à la base, avec un épiderme découpé seulement au sommet, à bord en biseau se décollant plus tard, et s'exfoliant tout entier avec les calottes de la calyptre, enfin avec deux initiales corticales bien distinctes de celles de l'épiderme et du cylindre central (2).

La racine du *Victoria regia* forme également ses radicelles

(1) Ph. Van Tieghem, *Sur la croissance terminale de la racine dans les Nymphéacées* (*Bull. de la Soc. bot.*, XXXIII, p. 264, 1886).

(2) L'écorce lacuneuse du *Nymphæa rubra* a ses lacunes traversées par de minces diaphragmes à jour, dont l'origine est la même que chez le *Nuphar*

suivant le même mode (fig. 113). La poche digestive, une fois détachée à la base par dissolution d'un anneau de cellules, s'y montre dédoublée au sommet dans ses deux ou trois cellules terminales. L'épiderme n'est découpé qu'au voisinage du sommet et se divise progressivement en calottes superposées. L'écorce se termine par une rangée presque transversale, composée de deux initiales accompagnées de chaque côté par deux segments indivis; au-dessous d'elle le cylindre central, également tronqué, a deux initiales au sommet (1).

Les radicelles de Nymphéacées se forment donc tout entières dans le péricycle, avec trois sortes d'initiales bien distinctes, et sont recouvertes par une poche endodermique simple. La manière dont l'épiderme s'y découpe seulement au voisinage du sommet, d'où résulte un grand développement de l'épistèle, mais surtout la façon dont plus tard il se détache complètement sur les flancs avec les calottes de la calyptre, séparent profondément ces plantes des autres Dicotylédones et les rapprochent intimement des Monocotylédones. Si, comme l'un de nous l'a proposé il y a deux ans, on désigne sous le nom de *Liorhizes* toutes les plantes où la chute totale de l'épiderme laisse la surface de la racine dénudée complètement lisse, et sous le nom de *Climacorhizes* (2) toutes les plantes où l'adhérence permanente de l'assise interne de l'épiderme rend la surface de la racine inégale et coupée de gradins descendant vers le sommet, le groupe des Liorhizes comprendra les Monocotylédones et les Nymphéacées, le groupe des Climacorhizes les Dicotylédones moins les Nymphéacées (3). Chez les Lio-

luteum, avec cette différence que le poil dichotome se ramifie ici dans un seul et même plan et, en soudant ses branches, laisse çà et là un petit intervalle libre.

(1) D'après M. Eriksson, la racine du *Nuphar luteum* aurait au sommet un groupe d'initiales communes à ses trois régions; M. Flahault n'a pu distinguer non plus, dans la racine terminale embryonnaire du *Nymphæa alba* et du *Victoria regia*, les initiales du cylindre central de celles de l'écorce (*loc. cit*, p. 123). On voit que, dans les radicelles de toutes ces plantes, les trois sortes d'initiales sont bien distinctes.

(2) De λεῖος, lisse, uni, et de κλῖμαξ, escalier, gradin.

(3) Ph. Van Tieghem, Cours professé au Muséum en 1887.

rhizes, l'assise pilifère est l'assise la plus externe de l'écorce; chez les Climacorhizes, l'assise pilifère est l'assise la plus interne de l'épiderme composé.

Nélombées (pl. VIII, fig. 114-118 et pl. IX, fig. 119).—Sous l'assise pilifère et l'assise subéreuse très différenciée, la racine du *Nelumbo nucifera* a une écorce lacuneuse terminée en dedans par l'endoderme. Çà et là certaines cellules des murs unisériés qui séparent les lacunes font saillie dans la cavité en forme de papille arrondie et, dans cette papille, produisent une masse sphéroïdale de cristaux d'oxalate de chaux. Le cylindre central a un péricycle simple, des faisceaux ligneux unisériés, au nombre de dix, par exemple, séparés au centre par une moelle, et autant de faisceaux libériens alternes. Pour former une radicelle, un arc péricyclique appuyant son milieu contre un faisceau ligneux accroît ses cellules radialement et les partage tangentiellement par deux cloisons successives pour séparer les trois régions avec leurs initiales (fig. 114 à 117). En même temps, l'endoderme dilate ses cellules et forme autour du mamelon une poche digestive qui reste simple indéfiniment. C'est cette poche qui dissout sans la comprimer l'écorce lacuneuse; plus tard, elle est résorbée à la base et entraînée en forme de bonnet (fig. 118). Au moment de la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné tangentiellement six fois autour de l'extrémité. L'écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée cinq fois vers la base, où s'établit le raccord des deux endodermes.

Après la sortie et l'exfoliation du bonnet de la poche digestive, l'épiderme exfolie sa première calotte en restant adhérent à la radicelle dans sa région inférieure simple, et les choses continuent de la sorte indéfiniment (fig. 119). Sous ce rapport, la racine du *Nelumbo* se comporte donc comme celle d'une Dicotylédone quelconque, nullement comme celle d'une Nymphéacée. L'assise pilifère y est l'assise la plus nterne de l'épiderme, non l'assise la plus externe de l'écorce. L'un de nous a déjà signalé cette différence et montré comment elle

s'ajoute à plusieurs autres pour éloigner définitivement les Nélombées des Nymphéacées auxquelles plusieurs auteurs, notamment MM. Bentham et Hooker, les ont réunies (1).

Malvacées (pl. IX, fig. 120-122). — Les Malvacées ont leur racine terminale quaternaire et forment leurs radicelles primaires en quatre rangées, dont deux correspondent aux cotylédons.

La racine terminale de l'*Hibiscus rosa-sinensis* ou de l'*H. vesicarius*, par exemple, a sous l'assise pilifère une écorce composée de dix à douze assises dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux confluents en étoile au centre et quatre faisceaux libériens alternes contenant chacun un paquet de fibres (2).

L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît ses cellules radialement, puis par deux cloisons tangentielles successives isole les trois régions de la radicelle avec leurs initiales (fig. 120). En même temps, les cellules superposées de l'endoderme se dilatent et entourent la radicelle d'une poche digestive d'abord simple, plus tard divisée tangentiellement une ou deux fois autour du sommet; finalement elle est dissoute un peu au-dessus de sa base, qui est incorporée (fig. 121). Au moment de la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris au sommet six ou sept cloisons tangentielles et formé une épaisse calyptre. Son écorce, terminée par une seule initiale, s'est divisée six fois à la base, où s'opère le raccord des deux endodermes.

Même structure quaternaire de la racine terminale et même formation des radicelles primaires, avec poche digestive

(1) Ph. Van Tieghem, *Sur la croissance terminale de la racine des Nymphéacées* (*Bull. de la Soc. bot.*, XXXIII, p. 265, 1886).

(2) Ces fibres du liber primaire ont été signalées récemment par l'un de nous chez un grand nombre de Malvacées, au sens le plus étendu de ce mot, c'est-à-dire aussi bien chez les Tiliées et les Sterculiées que chez les Malvées [Ph. Van Tieghem, *Sur les fibres libériennes primaires de la racine des Malvacées* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, VII, p. 176, 1888)].

double ou triple au sommet, dans le *Malva rotundifolia*, le *Lavatera maritima*, le *Malope trifida*, le *Kitaibelia vitifolia*, l'*Abutilon Avicenniæ*, l'*Anoda hastata*, etc. Dans l'*Anoda hastata* (fig. 122), par exemple, où l'arc péricyclique rhizogène prend huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, la poche endodermique est simple sur les flancs et double au sommet, où elle recouvre une calyptre épaisse, comptant à la sortie environ huit calottes. L'écorce y est terminée par une seule grande initiale (1).

Bombacées. — Une racine latérale de *Bombax pentandra* a, dans son écorce, entre l'assise pilifère et l'endoderme, une douzaine d'assises cellulaires. Son cylindre central a un péricycle simple, cinq faisceaux ligneux séparés au centre par une petite moelle et cinq faisceaux libériens alternes, pourvus de fibres. Pour former une radicelle, un arc péricyclique dont le milieu s'appuie contre un faisceau ligneux agrandit ses cellules et les divise deux fois tangentiellement suivant la règle, pour séparer les trois régions. En même temps, l'endoderme dilate ses cellules et les divise par des cloisons radiales, formant ainsi autour de la radicelle une poche digestive, qui demeure simple jusqu'à la fin et qui est d'assez bonne heure résorbée à sa base par l'épaississement de l'écorce. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné tangentiellement huit à dix fois autour du sommet, de manière à former une épaisse calyptre, dont les calottes sont peu adhérentes. L'écorce, terminée au sommet par deux grandes initiales,

(1) D'après M. Eriksson et M. Flahault, la racine des Malvacées aurait à son sommet un nombre variable d'assises d'initiales pour l'écorce : deux (*Pavonia*), trois (*Lavatera*, *Sida*), quatre (*Hibiscus*) et jusqu'à six ou sept (*Gossypium*); de plus, les initiales de l'écorce ne seraient pas toujours distinctes de celles de l'épiderme (*loc. cit.*, p. 106). D'après nos recherches sur les radicelles de ces plantes, les initiales de l'écorce sont, au contraire, toujours distinctes de celles de l'épiderme et toujours disposées en un seul rang. Mais comme ce rang ne contient qu'une ou deux cellules indivises, on conçoit qu'il suffise d'un très léger défaut d'axilité pour que la coupe montre plusieurs rangs superposés.

s'est divisée aussi environ dix fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes. C'est ce fort épaississement basilaire de l'écorce qui digère d'assez bonne heure la partie inférieure de la poche.

Sterculiacées (pl. IX, fig. 123-126). — La racine terminale du *Sterculia alata* a, sous l'assise pilifère, environ quinze assises corticales dont la plus interne est un endoderme à parois latérales très minces pourvues de plissements très étroits. Le cylindre central a six faisceaux ligneux et six faisceaux libériens au bord interne desquels se forme bientôt, de chaque côté, un faisceau de métaxylème; ces faisceaux sont disposés autour d'une très large moelle et entourés par un péricycle formé d'un seul rang de grandes cellules en dehors des faisceaux libériens, composé de deux à trois rangs de cellules plus petites en dehors des faisceaux ligneux, vis-à-vis de chacun desquels il fait une côte saillante dans l'écorce. L'arc péricyclique rhizogène compte d'ordinaire dans son assise externe onze cellules, dont la médiane est située en face d'un faisceau ligneux. Il accroît et cloisonne ses deux ou trois rangs de cellules, mais ce sont les éléments de l'assise externe qui, par deux cloisons tangentielles successives, séparent l'épiderme, l'écorce et la périphérie du sommet du cylindre central, avec les initiales des trois régions (fig. 123). L'assise interne, ou les deux internes quand il y en a trois, ne donnent que la partie inférieure et intérieure du cylindre central.

En même temps l'arc d'endoderme superposé accroît ses cellules et les dédouble par une cloison tangentielle dans toute son étendue ; l'avant-dernière assise corticale et même l'antépénultième assise agrandissent aussi leurs cellules et suivent la croissance du mamelon. De sorte que la jeune radicelle est enveloppée d'une poche triple ou quadruple dès la base. Plus tard, l'assise interne de la poche agrandit ses cellules radialement et les divise par trois ou quatre cloisons tangentielles centripètes ; la seconde assise prend aussi une cloison tangentielle, tandis que les assises externes ne se divisent que par

des cloisons radiales (fig. 124). Il résulte de tout cela une poche très épaisse, qui digère tout le reste de l'écorce et qui, à la sortie, se compose souvent de huit assises cellulaires et davantage. A ce moment, l'épiderme de la radicelle, qui demeure assez longtemps indivis, a pris au sommet quatre cloisons tangentielles. Son écorce, terminée par une initiale avec un ou deux segments entiers, s'est divisée trois à quatre fois à la base, où se fait le raccord des endodermes.

Une racine latérale de *Theobroma Cacao* a, dans son écorce, entre l'assise pilifère et l'endoderme, une quinzaine d'assises cellulaires. Son cylindre central a un péricycle simple, quelquefois double en face des faisceaux ligneux, cinq faisceaux ligneux séparés au centre par une petite moelle et cinq faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène péricyclique, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, agrandit ses cellules et les cloisonne deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions de la radicelle; de très bonne heure, l'épiderme se cloisonne tangentiellement plusieurs fois pour former une calyptre épaisse. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et forme autour de la radicelle une poche digestive d'abord simple, mais qui prend plus tard une cloison tangentielle autour du sommet, où elle devient double; finalement, elle est dissoute à la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné cinq ou six fois autour de l'extrémité. Son écorce, terminée au sommet par une ou deux initiales peu différenciées, s'est divisée quatre ou cinq fois à la base où s'opère le raccord des endodermes.

Quand le péricycle est double, c'est l'assise externe qui donne seule l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central (fig. 125). L'assise interne, qui s'accroît pourtant radialement plus que l'autre, ne donne que la région inférieure, au début la plus volumineuse, du cylindre central.

Une racine latérale de *Heritiera minor* a, sous une épaisse écorce, un cylindre central offrant autant de fortes cannelures que de faisceaux libériens; le péricycle est double dans tout le pourtour et recouvre, par exemple, six faisceaux ligneux sépa-

rés au centre par une moelle et autant de faisceaux libériens alternes, pourvus chacun d'un paquet de fibres en dedans de leurs tubes criblés. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux et par conséquent à un sillon du cylindre central, agrandit et cloisonne ses deux rangs de cellules. Les cellules médianes du rang externe prennent d'abord une cloison tangentielle vers leur face interne et découpent ainsi vers le bas le bord supérieur du cylindre central avec son initiale; tout le reste du cylindre central est formé par le rang interne. L'assise externe se divise ensuite de nouveau tangentiellement dans toute son étendue, à l'exception de ses extrêmes bords, séparant ainsi l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle. L'épiderme se cloisonne aussitôt tangentiellement un grand nombre de fois, de manière à former un épiderme composé presque dès la base et très épais au sommet. L'écorce, au contraire, ne se cloisonne que tardivement et peu (fig. 126).

L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les dédouble tangentiellement dans toute son étendue, de manière à envelopper la radicelle d'une poche digestive double, formée de grandes cellules isodiamétriques, qui plus tard est dissociée et résorbée vers la base à la suite de l'épaississement de l'écorce. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné environ quinze fois au sommet, de manière à constituer sous la poche une calyptre très épaisse. Son écorce, terminée au sommet par deux grandes initiales, s'est divisée huit à dix fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Même forme cannelée du cylindre central et même formation des radicelles au fond des sillons dans la racine latérale du *Sterculia Porteana*. Cette racine a sept faisceaux ligneux autour d'une large moelle, sept faisceaux libériens munis chacun d'un paquet de fibres, et un péricycle simple en dehors des faisceaux libériens, triple en dehors des faisceaux ligneux. Dans l'arc péricyclique rhizogène, les deux rangs internes donnent ensemble la région inférieure du cylindre central, tandis que le rang externe produit à la fois l'écorce, l'épiderme

et le sommet du cylindre central. La poche endodermique, simple sur les flancs du mamelon, où elle est plus tard digérée, est triple au sommet. La radicelle est très étroite; après qu'elle a traversé l'épaisse écorce de la racine mère et se dispose à sortir, son écorce ne compte encore que deux ou trois assises cellulaires à la base, où s'opère le raccord des endodermes, et son épiderme n'a découpé au sommet que deux ou trois calottes de calyptre.

La racine terminale des *Hermannia venosa*, *aurea*, etc., a la structure binaire; les radicelles y sont disposées en quatre séries rapprochées deux par deux et s'y forment comme d'ordinaire dans le péricycle simple.

Tiliacées (pl. IX, fig. 127). — La racine terminale du *Tilia microphylla* possède, sous une écorce comptant quinze assises cellulaires, un cylindre central formé de quatre faisceaux ligneux non confluents, de quatre faisceaux libériens alternes, et d'un péricycle simple en dehors des faisceaux libériens, double en dehors des faisceaux ligneux. L'arc péricyclique rhizogène, composé ordinairement de cinq cellules et dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, agrandit et cloisonne ses éléments. Par deux cloisons tangentielles successives, les cellules du rang externe séparent les trois régions avec leurs initiales, tandis que le rang interne ne produit que la base du cylindre central. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et enveloppe le mamelon d'une poche digestive simple à la base, double autour du sommet. Avant la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé quatre ou cinq calottes de calyptre; son écorce, terminée par une grande initiale, s'est divisée trois ou quatre fois à la base, où a lieu le raccord des endodermes (1). La racine terminale des *Tilia* a donc la structure quaternaire et les radicelles primaires disposées en quatre séries dans l'ordre isostique.

(1) D'après M. Flahault, la racine terminale embryonnaire des *Tilia* aurait un groupe d'initiales communes pour l'écorce et l'épiderme (*loc. cit.*, p. 107). On voit que dans les radicelles ces initiales sont distinctes.

La racine terminale du *Corchorus olitorius* a, au contraire, la structure binaire et les radicelles primaires disposées en quatre séries dans l'ordre diplostique.

Une racine latérale de *Sparmannia africana* a, sous l'assise pilifère, une écorce formée d'environ dix assises cellulaires, dont la dernière est l'endoderme. Son cylindre central a un péricycle simple tout autour, six faisceaux ligneux séparés au centre par une moelle et six faisceaux libériens alternes. Pour former une radicelle, un arc péricyclique comprenant six cellules, trois de chaque côté du vaisseau externe d'un faisceau ligneux, entre en cloisonnement, et par deux divisions tangentielles successives, sépare les trois régions (fig. 127). L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les cloisonne d'abord radialement, puis une fois tangentiellement dans sa région terminale; il se fait ainsi autour du mamelon une poche digestive simple à la base, où elle est plus tard digérée, double au sommet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné cinq ou six fois tangentiellement autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par deux grandes initiales, s'est divisée trois fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Ternstrœmiacées (pl. IX, fig. 128). — Une racine de *Thea viridis* a, sous l'assise pilifère, douze assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a quatre faisceaux ligneux disposés autour d'une assez large moelle, quatre faisceaux libériens alternes, et un péricycle simple en dehors des faisceaux libériens, double vis-à-vis des faisceaux ligneux. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît et cloisonne ses deux assises; mais c'est le rang externe seul qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules et forme autour du mamelon une poche digestive simple, qui, plus tard, se dédouble au sommet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, formé de grandes cellules, a découpé au sommet cinq calottes de calyptre sous la poche. Son

écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée quatre ou cinq fois vers la base; l'assise subéreuse, la première séparée, est composée de grandes cellules analogues à celles de l'épiderme. Tout en bas s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Dans la racine du *Ruyschia souroubea*, où l'assise subéreuse est formée de grandes cellules fortement différenciées et où l'écorce contient çà et là une cellule à raphides, le péricycle est simple dans toute la périphérie du cylindre central, qui renferme six faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens autour d'une moelle. L'arc péricyclique rhizogène, situé en face d'un faisceau ligneux, divise ses quatre cellules par deux cloisons tangentielles successives et sépare ainsi les trois régions (fig. 128). L'arc d'endoderme superposé enveloppe la radicelle d'une poche simple d'abord, plus tard dédoublée au sommet et dont la base est à la fin digérée. A la sortie, comme à tous les états antérieurs, les trois régions de la radicelle sont mieux différenciées que dans le *Thea;* l'écorce, notamment, y est terminée par deux initiales.

Même structure de la racine, mais avec péricycle formé de deux rangs de petites cellules en face de chacun des six faisceaux ligneux, dans le *Marcgravia dubia*. La radicelle tire ses trois sortes d'initiales de l'assise externe seule, comme dans le *Thea*, et est enveloppée d'une poche endodermique simple à la base, où plus tard elle est digérée, double au sommet. Avant sa sortie, son épiderme s'est cloisonné environ dix fois à l'extrémité de manière à former sous la poche une épaisse calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales étroites, se divise rapidement sept ou huit fois au voisinage de l'extrémité, qui est par conséquent renflée; elle est beaucoup plus mince à la base, où se fait le raccord des endodermes.

Clusiacées (pl. IX, fig. 129). — Une racine latérale du *Calophyllum Calaba* a, sous l'assise pilifère et l'assise subéreuse très différenciée, une écorce épaisse, creusée, comme on sait, de canaux sécréteurs disposés sur deux cercles concentriques,

limitée en dedans par l'endoderme (1). Le cylindre central, dépourvu de canaux sécréteurs, a un péricyle double, çà et là triple, sept faisceaux ligneux rangés autour d'une large moelle et sept faisceaux libériens alternes formés de petits paquets de tubes criblés séparés par du parenchyme.

Pour former une radicelle, un arc péricyclique comprenant huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, entre en croissance et en cloisonnement. Le rang externe se dédouble tangentiellement deux fois et produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central avec son initiale; le rang interne, ou les deux internes s'il y en a trois, ne donnent que la base du cylindre central (fig. 129). En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les divise par des cloisons radiales et forme autour du mamelon une poche digestive, d'abord simple, qui se divise plus tard une ou deux fois au sommet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné tangentiellement environ quinze fois pour former une épaisse calyptre. L'écorce, terminée par deux initiales aplaties, accompagnées de chaque côté par un segment indivis, s'est divisée huit à dix fois vers la base, en digérant la portion inférieure simple de la poche.

Même structure de la racine et même mode de formation des radicelles dans le *Clusia Liboniana* et dans le *Xanthochymus pictorius*.

Hypéricacées (pl. IX, fig. 130-132). — La racine terminale de l'*Hypericum pyramidatum* a, sous l'assise pilifère, quatre assises cellulaires dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène est situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux et la radicelle a une déviation d'environ 40 degrés. Les cellules de l'arc s'accroissent radialement et

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 258, 1871). — *Mémoire sur les canaux sécréteurs* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XVI, 1872). — *Second Mémoire sur les canaux sécréteurs* (*loc. cit.*, 7e série, I, p. 37, 1885).

se cloisonnent tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. L'endoderme dilate et cloisonne radialement ses cellules de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple. A la sortie, l'épiderme de la radicelle n'a pris qu'une seule cloison tangentielle à l'extrémité. Son écorce, terminée par deux initiales, ne s'est également divisée qu'une seule fois à la base (1).

La racine terminale des *Hypericum* produit donc ses radicelles en quatre séries presque équidistantes, faiblement rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. Aussi M. Clos a-t-il reconnu la disposition tétrastique des radicelles de ces plantes, tout en admettant que certaines d'entre elles peuvent offrir le type deux (*loc. cit.*, p. 21).

Dilléniacées (pl. X, fig. 133). — Sous une assise pilifère double et une assise subéreuse très différenciée, la racine latérale du *Hibbertia volubilis* a une dizaine d'assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Son cylindre central a un péricycle simple, quelquefois double en face des faisceaux ligneux, quatre fasceaux ligneux courts, séparés au centre par une moelle, et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux; ces cellules se cloisonnent tangentiellement à deux reprises, suivant la règle, pour séparer les trois régions avec leurs initiales (fig. 133). L'arc endodermique superposé enveloppe le mamelon d'une poche digestive d'abord simple; bientôt elle divise ses cellules à plusieurs reprises tangentiellement et offre au sommet trois ou quatre assises cellulaires. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné tangentiellement six ou sept fois pour former une calyptre épaisse. Son écorce, terminée par deux initiales, accompagnées de chaque côté par un segment entier, s'est divisée cinq ou six fois vers la base en résorbant la poche dans sa région inférieure.

(1) D'après M. Flahault, la racine terminale embryonnaire des *Hypericum* aurait deux rangs d'initiales pour l'écorce (*loc. cit.*, p. 105). On voit que les radicelles de ces plantes n'ont qu'une seule rangée d'initiales corticales.

Une racine latérale de *Dillenia speciosa* offre, dans son cylindre central, six faisceaux ligneux courts, formés chacun de deux ou trois vaisseaux, disposés autour d'une large moelle, et six faisceaux libériens alternes. La radicelle s'y fait de la même manière dans le péricycle simple, en face d'un des faisceaux ligneux. Elle est de même enveloppée d'une poche dédoublée dès la base, épaisse et triangulaire au sommet au moment de la sortie.

Ochnacées. — Une radicelle d'*Ochna atropurpurea* a, sous l'assise pilifère, sept assises corticales, dont la dernière est un endoderme à parois radiales très minces, munies de plissements sur leur bord interne. Le cylindre central a un péricycle double tout autour, trois faisceaux ligneux unisériés, trois faisceaux libériens alternes et une petite moelle. L'arc rhizogène péricyclique, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, ou bien est situé latéralement, suivant la région considérée, comprend cinq cellules dans l'assise externe. Il agrandit et cloisonne ses deux rangs, mais les cellules du rang externe s'accroissent beaucoup plus que les autres et, par deux cloisons tangentielles successives, isolent les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. Celles du rang interne s'allongent peu et ne donnent que la base du cylindre central.

L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et enveloppe le mamelon d'une poche digestive simple, qui reste telle jusqu'à la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné deux fois tangentiellement au sommet; son écorce, terminée par une initiale, s'est divisée trois fois à la base, où se fait le raccord des endodermes; son cylindre central a aussi une initiale au sommet.

Diptérocarpées. — La racine terminale du *Dipterocarpus lævis* a, sous l'assise pilifère, quinze assises corticales dont la dernière est un endoderme à petites cellules, dont les minces parois radiales sont munies de larges plissements. Le cylindre central, très volumineux, contient dix faisceaux ligneux et

autant de faisceaux libériens alternes, rangés autour d'une large moelle à grandes cellules et entourés par un péricycle double en dehors des premiers, simple en dehors des seconds. Les faisceaux ligneux centripètes sont courts, réduits à une file de quatre ou cinq vaisseaux étroits, mais ils se prolongent de chaque côté en direction tangentielle par une bande de métaxylème, de manière à prendre la forme d'un Y ou d'un V renversé et largement ouvert. Au bord interne de la file centripète, entre les branches du V, se trouve creusé à la périphérie de la moelle un large canal sécréteur oléifère. Les cellules de la moelle se sclérifient sur le bord interne du canal, qui paraît alors enfermé dans le faisceau ligneux.

L'arc rhizogène comprend six cellules du rang externe, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'accroissent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions de la racine et l'épistèle. Les cellules du rang interne grandissent aussi et se cloisonnent, mais ne donnent que la base du cylindre central, séparant de leurs congénères le vaisseau externe, ainsi que les tubes criblés extrêmes, et les entraînant au dehors pour contribuer à former la base de la radicelle. Les cellules sous-jacentes des deux rayons voisins s'allongent aussi et se cloisonnent. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise par des cloisons radiales pour envelopper le mamelon d'une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la sortie, où elle est incorporée dans son anneau basilaire et détachée au-dessus en forme de bonnet. A ce moment, l'épiderme de la radicelle a quatre assises au sommet; son écorce, terminée par une initiale, en a aussi quatre à la base; son cylindre central a une initiale au sommet.

Une radicelle primaire de cette même plante, ou de *D. crispalatus*, n'a dans son cylindre central que quatre faisceaux ligneux et libériens autour d'une petite moelle dépourvue de canaux sécréteurs. Le péricycle y est encore double vis-à-vis des faisceaux ligneux et les radicelles s'y forment comme dans la racine terminale.

Une radicelle secondaire de *D. Spanoghei* n'a dans son cylindre central étroit que deux faisceaux ligneux et deux faisceaux libériens autour d'une petite moelle à cellules étroites et sans canaux. Le péricycle y est simple tout autour. L'arc rhizogène comprend sept cellules, par exemple, cinq d'un côté d'un faisceau ligneux, deux seulement de l'autre côté. Ces cellules s'accroissent et se cloisonnent comme il a été dit pour l'assise externe du péricycle double dans les racines plus grosses, et le mamelon s'entoure de même d'une poche digestive simple. Mais ici la radicelle est déviée de 35 à 40 degrés, et la disposition est devenue quadrisériée diplostique.

De cette comparaison il résulte encore que c'est seulement dans le pivot du système que la racine des *Dipterocarpus* possède des canaux sécréteurs pendant la période primaire. Il s'en fait plus tard, comme on sait, dans le bois secondaire, et les premiers qui apparaissent se forment dans le péricycle contre le bord externe des faisceaux ligneux primaires (1).

La racine terminale du *Shorea robusta,* considérée dans sa région supérieure, non loin du collet, a dans son cylindre central quatre faisceaux ligneux unisériés séparés au centre par une moelle dépourvue de canaux sécréteurs qui se sclérifie de bonne heure, quatre faisceaux libériens alternes et un péricycle double en face des faisceaux ligneux, simple en dehors des faisceaux libériens. Plus bas, deux des faisceaux ligneux cessent, et le cylindre central est formé de deux faisceaux ligneux non confluents et de deux faisceaux libériens alternes. Dans la région supérieure, les radicelles sont disposées en quatre séries équidistantes, suivant la règle isostique; dans la région inférieure, elles sont rangées en quatre

(1) La présence d'un canal à cette place, tout au début des formations secondaires, dans une racine de *Dipterocarpus* qui, étant binaire, n'en avait pas dans sa moelle, a conduit l'un de nous à regarder ce canal comme étant primaire et comme appartenant au faisceau ligneux, au même titre que celui des *Pinus* [Ph. Van Tieghem, *Second mémoire sur les canaux sécréteurs des plantes* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, I, p. 59, 1885)]. C'est un point à rectifier.

séries alternes avec les précédentes, suivant la règle diplostique.

L'arc péricyclique rhizogène, situé en face d'un faisceau ligneux dans le premier cas, latéralement dans le second, agrandit radialement et cloisonne tangentiellement deux fois ses cellules externes, pour séparer les trois régions de la radicelle; les cellules du rang interne ne forment que la base du cylindre central. En même temps, les cellules endodermiques superposées se dilatent et ne se divisent que par des cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple jusqu'à la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle est quadruple au sommet. Son écorce, terminée par une ou deux initiales, s'est divisée trois fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

On voit que les *Shorea* diffèrent des *Dipterocarpus* par l'absence de canaux sécréteurs dans la moelle de la racine terminale. Mais la différence cesse dans la tige hypocotylée, où la moelle élargie prend un canal sécréteur en dedans de chacun des quatre faisceaux ligneux primaires.

Même structure avec absence de canaux sécréteurs primaires et même formation des radicelles dans une racine quaternaire de *Hopea faginea*, dans une racine ternaire de *Doona cordifolia* ou de *Vatica Roxburghii*, dans une racine binaire de *Vatica lamponga* ou de *Isoptera borneensis*.

Euphorbiacées (pl. X, fig. 134-135). — La racine terminale des *Euphorbia segetalis*, *E. Lagascæ*, etc., a, dans son écorce, entre l'assise pilifère et l'endoderme, six à huit assises cellulaires. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux unisériés séparés au centre par une petite moelle, et quatre faisceaux libériens alternes. Pour former une radicelle, un arc péricyclique comprenant six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux, agrandit ses éléments et les cloisonne à deux reprises tangentiellement pour séparer les trois régions et l'épistèle (fig. 134). L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise par des cloisons radiales dépourvues de plissements, de manière à envelopper la

radicelle d'une poche digestive d'abord simple; plus tard, il s'y fait une cloison tangentielle dans les cellules terminales et la poche est double au sommet (*E. segetalis*, etc.); parfois, il y a deux cloisonnements tangentiels successifs et la poche est triple au sommet (*E. Lagascæ*, etc.). A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris cinq ou six cloisons tangentielles et formé une épaisse calyptre. L'écorce, terminée par une initiale et un segment entier, s'est divisée six fois vers le bas; cet épaississement de l'écorce détache la poche, dont la partie inférieure simple est incorporée à l'épistèle. Tout à fait à la base a lieu le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

La racine terminale du *Ricinus communis* (fig. 135) a, sous l'assise pilifère, une écorce formée d'environ quinze assises cellulaires, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a quatre faisceaux ligneux disposés autour d'une large moelle, quatre faisceaux libériens alternes, et un péricycle formé d'une seule assise de grandes cellules en dehors des faisceaux libériens, de trois à cinq assises de cellules plus petites en dehors des faisceaux ligneux. L'arc rhizogène péricyclique, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux et qui comprend environ huit cellules en largeur, agrandit à la fois tous ses éléments. Le rang externe donne à lui seul l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central avec son initiale; les autres ne forment que la partie inférieure du cylindre. L'arc d'endoderme superposé se dilate autour du mamelon et entoure la radicelle d'une poche digestive, qui demeure simple et dont la base est plus tard incorporée. A la sortie, l'épiderme de la radicelle ne s'est encore divisé qu'une ou deux fois. Son écorce, terminée par une initiale avec un ou deux segments entiers, ne s'est divisée aussi que deux fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes. C'est donc le cylindre central qui forme la majeure partie de l'épaisseur de la radicelle. Les initiales des trois régions, bien que distinctes au sommet, sont peu différenciées (1).

(1) D'après M. Eriksson et M. Flahault, la racine des *Euphorbia*, *Rici-*

Buxées. — Une racine latérale de *Buxus sempervirens* a, sous l'assise pilifère, dix-huit à vingt assises corticales dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, cinq faisceaux ligneux disposés autour d'une moelle, qui devient plus tard scléreuse, et cinq faisceaux libériens alternes. Pour former une radicelle, un arc de péricycle ayant son milieu sur le vaisseau externe d'un faisceau ligneux agrandit radialement et cloisonne tangentiellement à deux reprises ses cellules, pour découper les trois régions et l'épistèle. L'endoderme suit le mamelon et entoure la radicelle d'une poche digestive simple latéralement, mais bientôt dédoublée autour du sommet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris au sommet sept ou huit cloisons tangentielles et formé une épaisse calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales avec deux segments entiers, s'est divisée cinq ou six fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Cistées (pl. X, fig. 136). — Les Cistées ont leur racine terminale binaire et produisent leurs radicelles primaires en quatre séries rapprochées deux par deux.

La racine terminale de l'*Helianthemum vulgare* ou de l'*H. niloticum*, par exemple, a, sous l'assise pilifère, cinq assises corticales dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène prend six cellules, quatre d'un côté d'un faisceau ligneux, deux du côté opposé; ces cellules se cloisonnent deux fois tangentiellement pour produire les trois régions avec leurs initiales. La radicelle ainsi constituée a une déviation de 30 à 35 degrés. L'endoderme suit le mamelon et se cloisonne

nus, etc., aurait au sommet un groupe d'initiales communes à ses trois régions (*loc. cit.*, p. 107). On voit que les radicelles ont, au contraire, trois sortes d'initiales distinctes, différenciées fortement dans les *Euphorbia*, faiblement dans les *Ricinus*. M. Flahault admet d'ailleurs que les racines latérales embryonnaires de l'*Elæococca verniciflua* ont des initiales propres pour le cylindre central, tandis que la racine terminale de l'embryon n'en a pas; toutefois, il n'a pas pu y distinguer les initiales de l'écorce de celles de l'épiderme (p. 109).

d'abord radialement pour former une poche simple, puis tangentiellement au sommet, où la poche acquiert deux et quelquefois trois assises.

C'est sans doute à cause de la petitesse ordinaire de la déviation, que M. Clos n'a pas su reconnaître la disposition des radicelles dans cette famille; il y admet tantôt deux, tantôt quatre, parfois même trois ou cinq rangs de radicelles (*loc. cit.*, p. 21). En réalité la disposition y est toujours tétrastique.

Une racine latérale de *Cistus ladaniferus* a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, trois faisceaux ligneux unisériés non confluents au centre, et trois faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu s'appuie contre le vaisseau le plus externe d'un faisceau ligneux, agrandit radialement et cloisonne tangentiellement ses cellules à deux reprises pour séparer les trois régions avec leurs initiales (fig. 136). L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et forme autour du mamelon une poche digestive d'abord simple, mais qui ne tarde pas à se cloisonner tangentiellement trois fois autour du sommet, où elle a quatre assises; la plus interne a toujours ses parois latérales munies de plissements très marqués. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné tangentiellement cinq ou six fois sous la poche pour former autant de calottes de calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales avec deux segments entiers, s'est divisée cinq ou six fois vers la base, où s'établit le raccord des endodermes. Quelquefois le péricycle est double en face du faisceau ligneux où naît la radicelle. C'est encore dans ce cas le rang externe qui donne seul les trois sortes d'initiales; le rang interne ne forme que la base du cylindre central (fig. 136).

Bixacées (pl. X, fig. 137). — La racine terminale du *Bixa orellana* a, sous l'assise pilifère, sept ou huit assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, deux faisceaux ligneux séparés

au centre par une petite moelle et deux faisceaux libériens alternes. De chaque côté des faisceaux libériens, le péricycle renferme une cellule laticifère à suc jaune rougeâtre (1). Pour former une radicelle, un arc péricyclique comprenant, par exemple, huit cellules, six d'un côté d'un faisceau ligneux, deux de l'autre côté, agrandit radialement ses éléments et les cloisonne deux fois tangentiellement pour produire les trois régions. La radicelle se dirige dans l'écorce avec une déviation de 35 à 40, quelquefois même 45 degrés. L'arc d'endoderme superposé accroît ses cellules et forme autour de la radicelle une poche d'abord simple, mais qui se dédouble bientôt par une cloison tangentielle autour du sommet; elle y prend quelquefois deux cloisons tangentielles et y devient triple. Plus tard, elle se détache de sa partie basilaire, qui est incorporée. Parfois le péricycle est double vis-à-vis de certains faisceaux ligneux. Le rang externe se comporte alors comme précédemment; le rang interne ne produit que la partie inférieure du cylindre central.

Sur la racine terminale binaire, les radicelles sont donc disposés en quatre séries rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux.

Les racines latérales de la même plante ont, suivant leur épaisseur, quatre, trois ou deux faisceaux ligneux, avec autant de faisceaux libériens; mais le péricycle y est double tout autour. Pourtant c'est toujours le rang externe seul qui produit les trois sortes d'initiales; le rang interne ne donne que la partie inférieure du cylindre central. Avec quatre ou trois faisceaux ligneux, les radicelles sont disposées en quatre ou trois séries équidistantes; avec deux faisceaux ligneux, elles sont, comme sur la racine terminale, en quatre séries rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux.

Papayées (pl. X, fig. 138-139). — Une racine latérale de *Carica cundinamarcensis* a, sous l'assise pilifère, une dizaine

(1) Ph. Van Tieghem, *Second Mémoire sur les canaux sécréteurs des plantes* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, I, p. 79, 1885).

d'assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a quatre ou cinq faisceaux ligneux unisériés séparés au centre par une moelle, autant de faisceaux libériens alternes, et un péricycle tantôt simple tout autour, tantôt double en dehors des faisceaux ligneux. Dans le premier cas (fig. 138), l'arc péricyclique rhizogène, comprenant huit à dix cellules de largeur, quatre ou cinq de chaque côté d'un faisceau ligneux, agrandit radialement et cloisonne comme d'ordinaire ses éléments. Dans le second (fig. 139), les deux rangs de cellules s'accroissent, mais c'est le rang externe qui, par deux cloisons tangentielles, sépare à la fois l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central; le rang interne ne produit que la base de ce cylindre. Dans tous les cas, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les cloisonne radialement pour former autour de la radicelle une poche digestive qui demeure longtemps simple, et ne se dédouble qu'assez tard et seulement au sommet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est divisé tangentiellement quatre ou cinq fois autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par une initiale accompagnée de chaque côté par un ou deux segments indivis, s'est cloisonnée cinq fois à la base, où se fait, à travers l'épistèle, le raccord des endodermes.

Passiflorées (pl. X, fig. 140-141). — Une racine latérale de *Passiflora littoralis* a, sous l'assise pilifère, six assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, trois faisceaux ligneux non confluents au centre et trois faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît radialement ses cellules et les divise tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions et l'épistèle. En même temps l'endoderme dilate ses cellules, les cloisonne radialement et forme autour de la radicelle une poche digestive simple, dont la base est plus tard incorporée, tandis que la région supérieure, en forme de bonnet, s'en détache par glissement (fig. 140).

Une racine latérale de *Disemma Hahnii* a de même un péricycle simple avec trois faisceaux ligneux et libériens. La radicelle s'y fait de même dans le péricycle en face d'un faisceau ligneux et se trouve de même enveloppée d'une poche endodermique simple à base incorporée (fig. 141). A la sortie, l'épiderme de la radicelle n'a formé encore que deux assises de calyptre. Son écorce, terminée par une seule grande initiale, s'est cloisonnée deux ou trois fois en bas. Ici l'assise sus-endodermique de la racine mère contient dans chaque cellule une mâcle d'oxalate de chaux. En face de la radicelle, cette assise est dissoute par la poche endodermique et les cristaux d'oxalate de chaux disparaissent aussi sans laisser de traces. L'action digestive porte donc sur l'oxalate de chaux comme sur les autres principes constitutifs des cellules.

Frankéniées (pl. X, fig. 142). — La racine terminale du *Frankenia pulverulenta* a, sous l'assise pilifère, trois assises corticales, dont la première, qui est l'assise subéreuse, épaissit ses membranes sur la face interne, et dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens alternes. Pour former une radicelle, un arc péricyclique comprenant six cellules, quatre d'un côté d'un faisceau ligneux, deux seulement de l'autre côté, accroît radialement et cloisonne tangentiellement deux fois ses éléments, de manière à séparer les trois régions et l'épistèle. La radicelle ainsi constituée se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 40 degrés. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise par des cloisons radiales, de façon à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple jusqu'après sa sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle a pris deux cloisons tangentielles autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par deux initiales avec deux segments entiers, ne s'est divisée qu'une fois vers la base, où commence à se faire le raccord des endodermes.

La racine terminale de ces plantes produit donc ses radi-

celles en quatre rangées, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. Ce rapprochement, dû à la petitesse de la déviation, explique que M. Clos n'ait attribué aux *Frankenia* que deux rangées de radicelles (*loc. cit.*, p. 15).

Violacées (pl. X, fig. 143). — La racine terminale des *Viola* (*V. odorata*, *V. canadensis*) a, sous l'assise pilifère, six assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux non confluents au centre et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend, par exemple, huit cellules : six d'un côté d'un faisceau ligneux, deux de l'autre côté. Elles croissent radialement et se cloisonnent deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions de la radicelle. Celle-ci se dirige dans l'écorce avec une déviation de 35 à 40 degrés. En même temps l'arc d'endoderme dilate ses cellules et les cloisonne seulement dans le sens radial pour envelopper la radicelle d'une poche digestive qui demeure simple jusqu'après la sortie. Au moment où la poche se détache de sa partie basilaire qui est incorporée, l'épiderme de la radicelle a pris quatre ou cinq cloisons tangentielles au sommet. Son écorce, terminée par une seule grande initiale, s'est divisée trois ou quatre fois vers la base, où commence à s'établir le raccord des endodermes.

Les radicelles primaires des *Viola* sont donc disposées en quatre séries longitudinales, plus ou moins rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux, suivant la valeur particulière de la déviation dans les diverses espèces. C'est ce rapprochement inégal qui explique que M. Clos ait attribué à ces plantes tantôt quatre, tantôt deux séries de radicelles (*loc. cit.*, p. 21).

La disposition et l'origine des radicelles est la même dans une racine latérale binaire de *Viola odorata* ou de *Viola canadensis*, avec cette seule différence que l'épaisseur de l'écorce à traverser est plus grande. Une racine latérale à trois ou quatre faisceaux ligneux de ces mêmes plantes forme encore

ses radicelles de la même manière, mais les dispose en face des faisceaux ligneux, en autant de séries longitudinales par conséquent (1).

Sarracéniées. — Sous l'assise pilifère, la racine latérale du *Sarracenia Stevensii* a une dizaine d'assises corticales, dont la dernière est un endoderme à plissements peu marqués. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux presque confluents au centre et quatre faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène, situé en face d'un faisceau ligneux, se cloisonne deux fois tangentiellement comme d'ordinaire pour produire les trois régions de la radicelle. L'endoderme se développe autour du mamelon en une poche simple qui digère toute l'écorce. Avant la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé au sommet quatre calottes de calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales, ne s'est divisée que deux fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Népenthées (pl. X, fig. 144). — Une racine latérale de *Nepenthes phyllamphora* a, sous l'assise pilifère, cinq assises corticales, y compris l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, çà et là double en face des faisceaux ligneux, cinq faisceaux ligneux courts séparés au centre par une large moelle et cinq faisceaux libériens très étroits. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît et cloisonne ses cellules, suivant la règle ordinaire, pour séparer les trois régions. L'endoderme dilate ses éléments et les divise par des cloisons radiales, de manière à envelopper la radicelle d'une poche digestive simple.

Géraniacées (pl. X, fig. 145). — La racine terminale du *Geranium molle* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse

(1) M. Flahault attribue à la racine terminale embryonnaire des *Viola* deux rangées d'initiales pour l'écorce. La radicelle n'a qu'une seule initiale; mais il suffit d'un léger défaut d'axilité des coupes pour faire paraître au sommet deux assises superposées.

munie de cadres d'épaississement, dont l'ensemble constitue un réseau de soutien (1); viennent ensuite six assises corticales ordinaires, et enfin l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux assises conjonctives. L'arc péricyclique rhizogène, composé de huit cellules, cinq d'un côté d'un faisceau ligneux, trois de l'autre, accroît radialement et cloisonne deux fois tangentiellement ses éléments, suivant la règle ordinaire, pour séparer les trois régions de la radicelle. Le mamelon ainsi formé se dirige dans l'écorce avec une déviation de 30 à 35 degrés. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise d'abord par des cloisons radiales, puis par une cloison tangentielle qui porte sur la totalité de sa surface; il enveloppe ainsi la radicelle d'une poche digestive double dans toute son étendue. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est divisé trois fois tangentiellement au sommet. Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, ne s'est divisée encore qu'une ou deux fois vers la base, où commence à s'établir le raccord des endodermes.

Même structure binaire de la racine terminale et même formation des radicelles en quatre séries rapprochées deux par deux dans les *Erodium gruinum* et *arabicum*. Il n'y a qu'une différence, c'est que le péricycle y est double; néanmoins, le rang externe donne seul les trois régions avec leurs initiales; l'interne ne forme que la base du cylindre central.

Une racine latérale de *Pelargonium malvæfolium* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse munie d'un puissant réseau de soutien, quatre assises corticales ordinaires et un endoderme à larges plissements. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents et deux faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène prend six cellules péricycliques, cinq d'un côté d'un faisceau ligneux, une seule

(1) Ph. Van Tieghem et E. Monal, *Sur le réseau sous-épidermique de la racine des Géraniacées* (*Bull. de la Soc. bot.*, séance du 11 mai 1888).

du côté opposé. Ces cellules s'accroissent et se cloisonnent comme d'ordinaire. L'arc d'endoderme se développe autour du mamelon et ne tarde pas à prendre une cloison tangentielle en formant une poche digestive double.

On voit donc que la racine terminale binaire des Géraniacées et aussi leurs racines latérales, toutes les fois qu'elles sont binaires, produisent leurs radicelles en quatre séries plus ou moins rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. Comme les radicelles chevauchent notablement sur le faisceau ligneux, il n'est pas rare de voir se former dans ces plantes des radicelles doubles insérées exactement en face des faisceaux ligneux. C'est cette petitesse de la déviation qui explique que M. Clos ait assigné aux radicelles de ces plantes *sans exception* la disposition distique (*loc. cit.*, p. 13).

Tropæolées (pl. X, fig. 146). — On sait que la racine terminale du *Tropæolum majus*, quaternaire dans sa région basilaire, devient binaire en s'amincissant à une certaine distance du collet (1). On doit donc s'attendre à voir les radicelles prendre dans chacune de ces régions une disposition différente : ce qui a lieu, en effet.

Considérons d'abord la région supérieure. Sous l'assise pilifère, l'écorce y compte une dizaine d'assises cellulaires dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux séparés par une petite moelle et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, qui appuie son milieu sur un faisceau ligneux, accroît radialement ses cellules et les cloisonne tangentiellement à deux reprises pour séparer les trois régions de la radicelle. L'arc d'endoderme superposé dilate ses éléments et les cloisonne d'abord radialement de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple; bientôt celle-ci se cloisonne tangentiellement à deux reprises autour de l'extrémité; elle est triple au sommet et sa base est plus tard incor-

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XIII, p. 244, 1871).

porée. Un peu avant la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris cinq ou six cloisons tangentielles au sommet. Son écorce, terminée par une initiale aplatie, avec un ou deux segments entiers, s'est divisée trois fois vers la base, où s'établit le raccord des endodermes par les cellules triplissées (1).

Dans la région inférieure, la racine terminale n'a plus dans son cylindre central que deux faisceaux ligneux non confluents et deux faisceaux libériens alternes. Les radicelles s'y forment de la même manière, mais l'arc péricyclique rhizogène est placé latéralement par rapport à un faisceau ligneux ; s'il comprend dix cellules, par exemple, sept sont situées d'un côté du faisceau ligneux, trois seulement de l'autre côté. La radicelle traverse donc l'écorce avec une déviation de 30 à 35 degrés, et toutes les radicelles sont disposées en quatre séries rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux, séries qui ne sont pas dans le prolongement des quatre séries de la région supérieure, mais, au contraire, alternent avec elles. Les deux dispositions quadrisériées des radicelles se rencontrent ici sur la même racine mère, en rapport avec les deux structures quaternaire et binaire de cette racine.

Les quatre racines latérales hypocotylées ont la structure binaire de la région inférieure de la racine principale (2). Elles forment aussi leurs radicelles en quatre rangées rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux, c'est-à-dire du côté supérieur et du côté inférieur par rapport à la tige. Cette structure binaire et cette disposition des radicelles se retrouvent encore dans les racines latérales qui se développent aux nœuds de la tige adulte.

Oxalidées (pl. X, fig. 147). — La racine terminale de l'*Oxalis valdiviana* a, sous l'assise pilifère, cinq assises corticales dont

(1) D'après M. Flahault, la racine terminale embryonnaire des *Tropæolum* a un groupe d'initiales communes pour l'écorce et l'épiderme (*loc. cit.*, p. 112). On voit que la radicelle a des initiales corticales distinctes de celles de l'épiderme ; elles sont, il est vrai, peu différenciées, et il faut de l'attention pour les reconnaître.

(2) Ph. Van Tieghem, *loc. cit.*, p. 244.

l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux unisériés confluents au centre, et deux faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène péricyclique comprend six cellules situées toutes les six du même côté d'un faisceau ligneux, ou sept cellules dont six d'un côté, une seule de l'autre. Ces cellules s'accroissent radialement et se cloisonnent tangentiellement à deux reprises, suivant la règle ordinaire, pour séparer les trois sortes d'initiales. La radicelle se dirige dans l'écorce avec une déviation de 40 à 45 degrés. Toutes ensemble, les radicelles sont donc disposées en quatre séries presque équidistantes. Aussi M. Clos a-t-il reconnu la disposition tétrastique dans ces plantes, en se bornant à émettre quelques doutes sur sa généralité (*loc. cit.*, p. 14).

L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules et ne les divise que par des cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple dans toute son étendue, qui est plus tard digérée à la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné deux fois tangentiellement au sommet. Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, ne s'est divisée qu'une fois vers sa base, où le raccord des endodermes ne s'établira qu'un peu plus tard.

Balsaminées (pl. X, fig. 148). — La racine terminale de l'*Impatiens cristata* a, sous l'assise pilifère, six assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux confluents en croix au centre, et quatre faisceaux libériens alternes. Pour former une radicelle, un arc péricyclique comprenant quatre cellules, deux de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les cloisonne deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les divise que par des cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple jusqu'à la fin et qui est digérée

à la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné deux fois tangentiellement; la première cloison porte sur presque toute l'étendue de l'épiderme, qui ne garde à la base qu'une seule cellule indivise. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée aussi deux fois vers la base, où commence à s'établir le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

La disposition tétrastique des radicelles des *Impatiens* est très différente, on le voit, de la disposition tétrastique des radicelles des *Oxalis* ou des *Geranium*. Ici, deux des séries de radicelles correspondent aux cotylédons; là, les séries de radicelles alternent avec les cotylédons et les deux feuilles suivantes. Les *Tropæolum*, combinant les deux, ressemblent aux *Impatiens* dans la région supérieure du pivot, aux *Oxalis* et aux *Geranium* dans sa région inférieure. Cette différence fondamentale entre les deux dispositions tétrastiques, suivant qu'elles correspondent à une structure binaire ou à une structure quaternaire, a totalement échappé à M. Clos.

Une des quatre racines latérales de germination offre la structure ternaire et produit ses radicelles de la même manière que le pivot, mais en trois séries longitudinales.

Limnanthées (pl. XI, fig. 149). — La racine terminale du *Limnanthes Douglasii* a, sous l'assise pilifère, dix assises corticales, dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens alternes. Pour former une radicelle, un arc péricyclique comprenant huit cellules, six d'un côté d'un faisceau ligneux, deux de l'autre côté, accroît radialement ses éléments, puis les divise tangentiellement à deux reprises pour séparer les trois régions et l'épistèle. La radicelle ainsi formée se dirige dans l'écorce en faisant une déviation de 30 à 35 degrés. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise d'abord par des cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple au début; plus tard, cette poche

prend autour du sommet une cloison tangentielle et y devient double. Un peu avant la sortie, l'épiderme de la radicelle, remarquable par ses grandes cellules très développées radialement, a pris quatre cloisons tangentielles vers le sommet. Son écorce, terminée par une seule initiale, s'est divisée trois fois vers la base, et l'assise subéreuse prend dans ses cellules un développement radial analogue à celui de l'épiderme. A la base s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central offre aussi au sommet une seule initiale.

Les radicelles des *Limnanthes* sont donc disposées sur la racine terminale en quatre séries rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. Elles ressemblent sous ce rapport à celles des Géraniacées et des Oxalidées, et s'éloignent de celles des Balsaminées.

Linées (pl. XI, fig. 150-151). — La racine terminale des *Linum* (*L. usitatissimum*, *pallescens*, *verticillatum*, *angustifolium*, *Leoni*) a, sous l'assise pilifère, six à huit assises corticales, dont la plus interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre, et deux faisceaux libériens alternes, séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux assises conjonctives. L'arc péricyclique rhizogène comprend douze cellules, situées, par exemple, huit d'un côté d'un faisceau ligneux, quatre de l'autre, auquel cas la déviation est faible et la radicelle s'attache à la fois sur les deux faisceaux libériens, ou bien dix d'un côté, deux seulement de l'autre, ou bien encore toutes du même côté, auquel cas la déviation est d'environ 45 degrés et la radicelle ne s'insère que sur un faisceau libérien. Cet arc accroît radialement ses éléments, puis les cloisonne à deux reprises, suivant la règle ordinaire, pour séparer les trois régions avec leurs initiales.

En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les divise que par des cloisons radiales pour entourer la radicelle d'une poche digestive simple dans toute

son étendue, qui est à la fin digérée elle-même à la base. L'action digestive de cette poche s'étend dans l'écorce au delà des cellules qu'elle touche actuellement, de sorte que le mamelon est entouré d'une zone de cellules corticales en voie de résorption (*L. usitatissimum*, etc.). A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné tangentiellement trois fois au sommet (*L. usitatissimum*, fig. 151, etc.), ou seulement une ou deux fois (*L. Leoni*, fig. 150, etc.). L'écorce, terminée par deux initiales étroites et hautes, s'est divisée trois ou quatre fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées (1). Le cylindre central a une seule initiale au sommet.

Les radicelles primaires des *Linum* sont donc disposées en quatre séries, plus ou moins rapprochées deux par deux suivant les espèces. C'est ce rapprochement inégal qui explique que M. Clos y ait méconnu la disposition tétrastique et ait attribué tantôt deux, tantôt trois, tantôt quatre séries de radicelles aux divers *Linum* qu'il a étudiés (*loc. cit.*, p. 14).

Élatinées. — La racine terminale de l'*Elatine Alsinastrum* a, sous l'assise pilifère, une écorce creusée de lacunes aérifères, limitée en dedans par l'endoderme. Le cylindre central, onduleux dans la racine vue en long par transparence, a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents et deux faisceaux libériens alternes. Les radicelles se forment en quatre séries rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. Pour sortir, certaines traversent toute l'écorce horizontalement comme d'ordinaire; mais d'autres, et c'est le plus grand nombre, se courbent à angle droit de très bonne heure et se

(1) D'après M. de Janczewski (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XX, p. 24, 1874), la racine des *Linum* a deux rangs d'initiales corticales, le rang externe ne produisant que l'assise subéreuse, le rang interne donnant tout le reste de l'écorce. M. Flahault affirme qu'il en est de même dans la racine terminale embryonnaire (*loc. cit.*, p. 115). On voit que les radicelles primaires n'ont qu'un seul rang d'initiales corticales; mais ce rang se réduisant à une paire de cellules étroites, on conçoit qu'il suffise d'un très léger défaut d'axilité des coupes pour faire apparaître au sommet deux rangs de cellules superposées.

dirigent ensuite verticalement vers le bas dans une des lacunes de l'écorce, vers le milieu de son épaisseur. L'arc péricyclique rhizogène accroît radialement ses cellules et les divise ensuite tangentiellement deux fois pour isoler les trois régions et l'épistèle. L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses éléments et les cloisonne radialement de manière à former autour de la radicelle une poche digestive simple.

Zygophyllées. — La racine terminale des *Tribulus* (*T. terrestris*, *T. robustus*) a, sous l'assise pilifère, quatre assises corticales, dont l'interne est un endoderme à plissements disposés sur la partie interne des parois radiales. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend huit cellules, six d'un côté d'un faisceau ligneux, deux de l'autre côté, qui se cloisonnent deux fois tangentiellement pour dégager les trois régions. La radicelle traverse l'écorce avec une déviation d'environ 40 degrés. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et enveloppe le mamelon d'une poche digestive simple, qui demeure telle jusqu'après la sortie et qui est alors digérée à la base. A ce moment, l'épiderme de la radicelle a pris trois cloisons tangentielles au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée trois fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes. Les radicelles primaires des *Tribulus* sont donc disposées en quatre séries rapprochées deux par deux. Aussi est-ce par erreur que M. Clos n'assigne que deux rangs de radicelles à ces plantes (*loc. cit.*, p. 20).

Rutacées (pl. XI, fig. 152). — La racine terminale des *Ruta* (*R. graveolens*, *R. montana*) a, sous l'assise pilifère, six assises corticales dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend six cellules, toutes du même côté d'un faisceau ligneux. Elles s'accroissent radialement et se cloi-

sonnent tangentiellement deux fois pour isoler les trois régions avec leurs initiales. La radicelle ainsi formée se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 45 degrés. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et forme une poche digestive simple, plus tard digérée autour de la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé au sommet six assises formant sous la poche une épaisse calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée quatre ou cinq fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes (1).

Les *Ruta* ont donc leurs radicelles disposées en quatre séries, et non en deux séries seulement, comme l'a cru M. Clos (*loc. cit.*, p. 20).

Une racine latérale de *Citrus Aurantium* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse fortement différenciée et treize assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, çà et là double en face des faisceaux ligneux, neuf faisceaux ligneux disposés autour d'une large moelle qui se sclérifie de bonne heure vers sa périphérie, et autant de faisceaux libériens alternes, séparés de la zone scléreuse de la moelle par trois rangs de cellules à parois minces, dont l'externe deviendra génératrice du liber et du bois secondaires. L'arc rhizogène péricyclique, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît radialement ses cellules, puis les divise tangentiellement d'abord à deux reprises pour séparer les trois régions avec leurs initiales, puis de nouveau à la fois dans le rang externe pour former de nombreuses calottes de calyptre, et dans le rang interne pour accroître le cylindre central; compris entre ces deux foyers de cloisonnement rapide, le rang d'initiales de l'écorce devient plus tard assez difficile à distinguer (fig. 152). En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les cloisonne seulement en direction radiale, de manière à envelopper la radicelle d'une poche digestive, qui demeure simple

(1) D'après M. Flahault, la racine embryonnaire des *Ruta* aurait deux assises d'initiales pour l'écorce (*loc. cit.*, p. 117). On voit que la radicelle n'en a qu'une seule.

jusqu'à la fin, ou qui se dédouble seulement autour de l'extrémité, et qui est digérée plus tard à la base. A un moment donné, il y a toute une portion d'écorce entièrement dissoute tout autour de la poche, ce qui prouve que l'action digestive de cette assise s'étend au delà de son contour actuel. A la sortie, l'épiderme de la radicelle compte une dizaine d'assises autour du sommet, et son écorce, terminée par une seule initiale, s'est divisée sept ou huit fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées (1).

Lorsque le péricycle est double vis-à-vis d'un faisceau ligneux, c'est le rang externe qui donne les trois régions avec leurs initiales; le rang interne ne produit que la base du cylindre central.

Dans une racine de *Dictamnus albus*, dont le cylindre central a trois faisceaux ligneux et libériens, le péricycle est simple tout autour et les radicelles s'y forment, suivant la règle, en face des faisceaux ligneux; mais ici la poche endodermique, simple sur les flancs, est dédoublée autour du sommet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé sous la poche cinq assises formant une épaisse calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée cinq fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes (2).

Méliacées (pl. XI, fig. 153). — La racine terminale du *Khaya senegalensis* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse à larges plissements et quatorze assises corticales dont la dernière est un endoderme à plissements étroits localisés sur le bord interne des cloisons radiales. Le cylindre central a quatre faisceaux ligneux et autant de faisceaux

(1) D'après M. Eriksson et M. Flahault, la racine du *Citrus Aurantium* aurait au sommet un groupe d'initiales communes aux trois régions (*loc. cit.*, p. 117). On voit que dans la jeune radicelle les trois sortes d'initiales sont distinctes; elles sont seulement peu différenciées, et il faut de l'attention pour les reconnaître.

(2) D'après M. Flahault, la radicule du *Dictamnus* aurait deux assises d'initiales pour l'écorce (*loc. cit.*, p. 116). On voit que la radicelle n'en a qu'une seule.

libériens, disposés autour d'une moelle; le péricycle y est double en face des faisceaux ligneux, simple en dehors des faisceaux libériens.

L'arc péricyclique rhizogène comprend neuf cellules dont la médiane externe est superposée à un faisceau ligneux. Les cellules de l'assise externe s'accroissent plus que les autres et, par deux cloisons tangentielles successives, dégagent d'abord le sommet du cylindre central avec son initiale, puis l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle. Celles du second rang ne donnent que la base du cylindre (fig. 153). L'arc d'endoderme superposé développe en même temps ses cellules et forme autour du mamelon une poche digestive d'abord simple, qui ne tarde pas à se cloisonner tangentiellement autour de l'extrémité et qui demeure double au sommet jusqu'à la sortie, où sa base simple est incorporée. A la sortie, l'épiderme de la radicelle n'a pris que deux cloisons tangentielles au sommet; son écorce, terminée par une initiale, ne s'est divisée que deux fois vers la base, où s'établit le raccord des endodermes.

Une radicelle de *Melia Azederach* a, sous l'assise pilifère, cinq assises corticales dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre, et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux, se cloisonne deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions de la radicelle. L'endoderme dilate ses cellules autour du mamelon et l'entoure d'une poche digestive simple, qui demeure telle jusqu'à la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle n'a pris encore qu'une seule cloison tangentielle, et son écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, s'est divisée deux ou trois fois vers la base, où s'établit le raccord des endodermes.

Simarubées (pl. XI, fig. 154-155).— La racine terminale du *Simaruba excelsa* a, sous l'assise pilifère, dix à douze assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux confluents

au centre en étoile et quatre petits faisceaux libériens alternes. La racine est, comme on sait, entièrement dépourvue de canaux sécréteurs (1). L'arc péricyclique rhizogène, comprenant huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les cloisonne deux fois tangentiellement pour isoler les trois régions avec leurs initiales (fig. 154). L'endoderme suit le mamelon en dilatant ses cellules et les divisant seulement par des cloisons radiales; la poche digestive est donc simple jusqu'à la fin et sa base paraît plus tard incorporée. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris cinq cloisons tangentielles au sommet. Son écorce, terminée par deux initiales, ne s'est divisée que deux ou trois fois vers la base où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Une racine d'*Ailantus glandulosa* a, sous l'endoderme, un péricycle simple, deux faisceaux ligneux non confluents, et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, comprenant six cellules situées toutes du même côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les cloisonne deux fois tangentiellement pour séparer les trois sortes d'initiales (fig. 155). Le mamelon ainsi constitué se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 45 degrés et toutes les radicelles sont disposées en quatre séries presque équidistantes. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise par des cloisons radiales, formant ainsi une poche digestive simple qui plus tard est incorporée à la base et dédoublée au sommet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé trois calottes de calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée trois ou quatre fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes.

Anacardiacées (pl. XI, fig. 156-157).— La racine terminale du *Schinus Molle* a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central,

(1) Ph. Van Tieghem, *Second Mémoire sur les canaux sécréteurs* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, I, p. 87, 1885).

qui a la forme d'un prisme à base carrée, a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux unisériés non confluents au centre, occupant le milieu des faces du prisme, et quatre faisceaux libériens alternes contenant chacun un large canal sécréteur, occupant les arêtes du prisme. L'arc péricyclique rhizogène comprend six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux; ces cellules s'accroissent radialement et se cloisonnent tangentiellement à deux reprises pour isoler les trois régions et l'épistèle (fig. 156). En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses éléments, les divise par des cloisons radiales et forme autour du mamelon une poche digestive simple; plus tard, cette poche prend autour du sommet une cloison tangentielle, qui la dédouble (fig. 157). A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris deux cloisons tangentielles autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée trois fois vers la base, où s'établit le raccord des endodermes (1).

Sapindacées (pl. XI, fig. 158-160). — La racine terminale de l'*Æsculus Hippocastanum* a, sous l'assise pilifère, environ quinze assises corticales dont la plus interne est l'endoderme. Le cylindre central a six faisceaux ligneux unisériés, rangés autour d'une assez large moelle, six faisceaux libériens alternes, et un péricycle formé de quatre ou cinq assises en dehors des faisceaux ligneux, d'une ou deux assises seulement en face des faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène, comprenant ordinairement six cellules de largeur, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux, agrandit à la fois toutes ses cellules; mais celles du rang externe s'accroissent radialement plus que les autres et ce sont elles qui, par deux cloisons tangentielles successives, isolent les trois régions avec leurs intiales (fig. 160).

(1) D'après M. Flahault, la racine terminale embryonnaire du *Schinus Molle* aurait au sommet deux rangs d'initiales (*loc. cit.*, p. 118). D'après nos observations, la radicelle n'a qu'un rang d'initiales corticales; mais comme ce rang se réduit à deux initiales étroites, on comprend qu'il suffit d'un très léger défaut d'axilité des coupes pour faire paraître au sommet deux étages de cellules superposées.

Les autres ne produisent que la partie inférieure du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules et les divise d'abord par des cloisons radiales, pour former autour du mamelon radicellaire une poche digestive simple; plus tard, cette poche prend autour de l'extrémité d'abord une, puis deux cloisons radiales, ce qui la rend d'abord double, puis triple au sommet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné une dizaine de fois autour de l'extrémité pour former une épaisse calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée huit à dix fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes. Les initiales de l'épiderme, de l'écorce et du cylindre central sont peu différenciées et par suite assez difficiles à distinguer (1).

On sait qu'outre leurs radicelles ordinaires, les *Æsculus* produisent périodiquement dans le sol un grand nombre de radicelles qui cessent bientôt de croître et se renflent en petits tubercules d'environ 2 millimètres de longueur. Ces radicelles rudimentaires naissent dans le péricycle comme les radicelles normales et à la même place. Elles en diffèrent cependant parce que l'épiderme ne s'y cloisonne pas tangentiellement et recouvre au sommet d'une simple assise le rang d'initiales de l'écorce. Elles en diffèrent aussi parce que l'endoderme de la racine mère les enveloppe d'une poche digestive simple dans toute son étendue et qui demeure indéfiniment adhérente. Il n'y a donc pas de coiffe, puisque ni l'épiderme, ni la poche ne fournissent de tissu caduc. MM. J. Klein et F. Szabó (*Flora*, 1880), qui ont, après M. Resa (*Inaug. Diss.*, Bonn, 1877), étudié ces tubercules, ont bien vu que ce sont des radicelles à tout âge dépourvues de coiffe; mais ils ont pris la poche endodermique pour l'épiderme de la radicelle et considéré son véritable épiderme comme faisant partie de l'écorce.

La racine terminale de l'*Acer platanoides* a, sous l'assise

(1) Aussi M. Flahault assigne-t-il à la racine terminale embryonnaire des *Æsculus* un groupe d'initiales communes (*loc. cit.*, p. 119).

pilifère, huit assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a quatre faisceaux ligneux et quatre faisceaux libériens alternes, disposés en cercle autour d'une large moelle, avec un péricycle double en dehors des faisceaux ligneux, simple en dehors des faisceaux libériens. Pour former une radicelle, un arc péricyclique dont le milieu répond à un faisceau ligneux accroît radialement ses deux rangs de cellules. Le rang interne ne donne que la base du cylindre central ; c'est le rang externe qui se cloisonne tangentiellement deux fois pour séparer à la fois l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central avec son initiale (fig. 159). En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les cloisonne tangentiellement toutes ou presque toutes, de manière à former une poche digestive double dans toute son étendue, qui, plus tard, dédouble de nouveau chacune de ses assises autour du sommet, où elle acquiert une quadruple épaisseur. Avant la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné tangentiellement deux fois sous cette poche épaisse. Son écorce, terminée par deux initiales, ne s'est divisée qu'une ou deux fois vers la base. Son cylindre central a une seule initiale au sommet (1).

Les radicelles des *Acer* sont donc disposées sur la racine terminale en quatre séries et non en six séries comme dans les *Æsculus*.

La même disposition quadrisériée avec structure quaternaire et le même mode de formation des radicelles s'observent aussi dans la racine terminale du *Xanthoceras sorbifolia*.

Une racine de *Melianthus major* a, sous l'assise pilifère, dix assises corticales dont la dernière est un endoderme à petites cellules plissées. Le cylindre central a deux faisceaux ligneux unisériés non confluents, deux faisceaux libériens

(1) D'après M. Eriksson, la racine des *Acer* aurait au sommet un groupe d'initiales communes à ses trois régions. M. Flahault admet que le cylindre central a des initiales propres, mais il attribue des initiales communes à l'écorce et à l'épiderme (*loc. cit.*, p. 119). On voit que la radicelle de ces plantes a ses trois sortes d'initiales bien distinctes.

alternes, et un péricycle double en dehors des faisceaux libériens, triple et même quadruple en dehors des faisceaux ligneux. L'arc péricyclique rhizogène comprend quatorze cellules dans son assise externe, dix d'un côté d'un faisceau ligneux, quatre de l'autre côté; la déviation de la radicelle est donc assez faible, d'environ 30 degrés. Les trois ou quatre rangs de cellules péricycliques s'accroissent radialement. Le rang externe prend deux cloisons tangentielles successives et sépare l'épiderme en dehors, l'écorce au milieu et le sommet du cylindre central avec son initiale en dedans; le second, le troisième et le quatrième rang ne donnent que la base du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et produit une poche digestive, d'abord simple, mais qui ne tarde pas à se dédoubler par une cloison tangentielle tout autour de l'extrémité; elle est plus tard digérée à la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris cinq ou six cloisons tangentielles au sommet. Son écorce, terminée par une initiale accompagnée d'un segment entier, s'est divisée six fois à la base, où se fait le raccord des endodermes. Le cylindre central a aussi une initiale au sommet. Les trois sortes d'initiales sont d'ailleurs peu distinctes, et il faut de l'attention pour les reconnaître.

Une racine de *Sapindus rarak* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse dont les cellules sont munies d'une bande d'épaississement sur chacune de leurs faces radiales et transverses; l'ensemble des cadres rectangulaires ainsi formé constitue un réseau de soutien sous-épidermique, çà et là interrompu, pareil à celui que l'on a rencontré plus haut chez les Géraniacées (p. 154). Ce réseau de soutien s'observe aussi chez d'autres Sapindées (*Kœlreuteria*, *Nephelium*, *Talisia*, *Melicocca*, *Cupania*, etc.) (1). Puis viennent neuf assises corticales dont la dernière est un endoderme à cellules renfermant une matière résineuse et munies de courts plisse-

(1) Voyez, à ce sujet, Ph. Van Tieghem, *Sur le réseau de soutien de l'écorce de la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, VII, p. 375, 1888).

ments rapprochés de la face interne. Le cylindre central a un péricycle double tout autour, deux faisceaux ligneux plurisériés non confluents et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène est situé tout entier d'un côté d'un faisceau ligneux, de sorte que la radicelle fait une déviation d'environ 45 degrés. Les deux rangs péricycliques accroissent radialement leurs cellules; mais c'est le rang externe seul qui, par deux cloisonnements tangentiels, sépare l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central avec son initiale. Le rang interne ne donne que la base du cylindre central. L'endoderme forme une poche digestive simple à la base, où elle est incorporée, double autour du sommet.

Les *Serjania* (*S. polyphylla*, *S. caracasiana*) ont la même structure binaire de la racine, avec péricycle double tout autour, quelquefois triple en face des faisceaux ligneux. Les radicelles s'y forment aussi de la même manière en quatre séries, avec production des initiales des trois régions par l'assise péricyclique externe. Mais la poche digestive y demeure simple jusqu'à la sortie. En outre, l'assise subéreuse y est dépourvue de cadres épaissis, mais, par contre, elle a ses faces radiales et transverses fortement plissées.

Une racine de *Staphylea trifolia* a, sous une assise pilifère dont la membrane est épaissie en dehors, sept assises corticales dont la dernière est un endoderme plissé. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux plurisériés confluents au centre et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène (fig. 158) comprend six cellules toutes situées du même côté d'un faisceau ligneux; il accroît radialement et cloisonne tangentiellement deux fois ses éléments pour séparer les trois régions de la radicelle, dont la déviation est d'environ 40 degrés. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise par des cloisons radiales de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la fin. A la sortie, elle est incorporée à la base et détachée au-dessus en forme de bonnet. A ce moment, l'épiderme de la radicelle, simple sur les flancs,

a pris quatre cloisons tangentielles et est devenu quadruple au sommet. Son écorce, terminée par une paire d'initiales, s'est divisée cinq fois vers la base, où se fait, à travers une épistèle assez développée, le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central a une initiale au sommet.

Malpighiacées (pl. XI, fig. 161). — Une racine latérale de *Malpighia punicifolia* a, sous l'assise pilifère, douze assises corticales, dont l'interne est un endoderme à petites cellules. Le cylindre central a trois faisceaux ligneux confluents, trois faisceaux libériens alternes, et un péricycle simple en dehors des faisceaux ligneux, triple vis-à-vis des faisceaux libériens. L'arc rhizogène péricyclique comprend d'ordinaire dix cellules, cinq de chaque côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'accroissent radialement, puis se cloisonnent tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions avec leurs initiales. L'endoderme se développe en même temps autour du mamelon en une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la fin; plus tard, elle est digérée tout autour de la base par l'épaississement de l'écorce. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné tangentiellement deux ou trois fois autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée quatre fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Un peu plus bas, cette racine perd l'un de ses faisceaux ligneux et devient binaire. Désormais, les radicelles s'y forment latéralement par rapport aux faisceaux ligneux et se disposent en quatre rangs. Mais déjà quand le faisceau ligneux destiné à disparaître plus loin est encore présent, les radicelles qui se forment en correspondance avec les autres commencent à affecter cette situation latérale. C'est un fait que nous avons observé déjà plusieurs fois au cours de ce travail.

Polygalées (pl. XI, fig. 162). — Une racine de *Polygala myrtifolia* a, sous l'assise pilifère, six assises corticales, dont

l'interne est un endoderme à petits plissements. Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, deux faisceaux ligneux bisériés à vaisseaux étroits, non confluents au centre, et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend d'ordinaire douze cellules : neuf, par exemple, d'un côté d'un faisceau ligneux, trois seulement de l'autre. Ces cellules s'accroissent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent, suivant la règle ordinaire, les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. Le mamelon ainsi formé se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 35 degrés. Toutes ensemble, les radicelles sont donc insérées sur quatre rangées, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate et cloisonne radialement ses cellules, en formant une poche digestive d'abord simple. Bientôt, cette poche se dédouble, mais seulement au sommet même, par une cloison tangentielle. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris trois cloisons tangentielles autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par une initiale, s'est divisée trois fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Trémandrées (pl. XI, fig. 163). — Une racine de *Tremandra verticillata* a, sous l'assise pilifère, six assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, trois faisceaux ligneux courts autour d'une petite moelle et trois faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, comprenant six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement et cloisonne deux fois tangentiellement ses éléments pour séparer les trois régions de la radicelle avec une épistèle assez développée. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les cloisonne radialement et entoure le mamelon d'une poche digestive simple, plus tard digérée à la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris trois cloisons tangentielles autour de l'extrémité ; son écorce, terminée par une initiale accompagnée de chaque côté par un segment entier, ne s'est divisée

encore qu'une seule fois sur les flancs et à la base. Le premier cloisonnement tangentiel de l'écorce est d'ailleurs très tardif, et pendant longtemps l'écorce demeure simple dans toute son étendue (fig. 163).

Légumineuses (pl. XII, fig. 164-178 et pl. XIII, fig. 179-186). — M. de Janczewski a étudié la formation des radicelles primaires dans la racine terminale chez le *Cicer arietinum*, le *Pisum sativum* et le *Phaseolus vulgaris* (*loc. cit.*, p. 56, 1874). Il a conclu de ses recherches que dans ces plantes la radicelle tire son épiderme et son écorce de l'endoderme et des assises corticales internes de la racine mère, son cylindre central seul du péricycle de la racine mère. Ce mode de formation diffère profondément de celui que nous avons rencontré jusqu'ici chez les Dicotylédones; s'il était reconnu exact, il faudrait renoncer à rattacher l'origine des radicelles dans cette classe à un type général. La question est donc du plus haut intérêt. Pour la résoudre, nous avons dû ne pas nous borner à reprendre l'examen des trois plantes étudiées par M. de Janczewski et qui comptent, comme on le verra plus loin, parmi celles où le phénomène est le plus complexe. Nous avons étendu nos observations à un grand nombre de genres de la famille, ce qui nous a permis de découvrir les formes les plus simples du phénomène et de saisir toute la série des gradations qui relient ces formes simples aux types les plus compliqués (1).

La racine terminale des Légumineuses varie, comme on sait, dans sa structure, le cylindre central y possédant, suivant les genres, deux, trois, quatre ou cinq faisceaux ligneux et libériens (2). Il y a deux faisceaux ligneux, par exemple dans les *Lupinus*, *Cytisus*, *Ononis*, *Genista*, *Spartium*, *Amorpha*, *Sarracha*, *Galega*, *Adesmia*, *Dalea*, *Cercis*, etc. Il y en a trois,

(1) Les principaux résultats de ces recherches ont été communiqués par nous à la Société botanique de France dans une note intitulée : *Origine des radicelles et des racines latérales chez les Légumineuses et les Cucurbitacées* (*Bulletin*, XXXIII, p. 494, 1886).

(2) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 217, 1871).

par exemple dans les *Lathyrus*, *Orobus*, *Vicia*, *Pisum*, *Ervum*, *Lotus*, *Bonaveria*, *Ornithopus*, *Scorpiurus*, *Coronilla*, *Trigonella*, *Bisserula*, *Pocockia*, *Hedysarum*, *Onobrychis*, *Astragalus*, *Arthrolobium*, *Hosackia*, etc. Il y en a quatre dans les *Phaseolus*, *Dolichos*, *Soja*, *Virgilia*, *Tetragonolobus*, *Medicago*, *Lespedeza*, *Sesbenus*, *Clianthus*, *Desmodium*, *Trifolium*, *Melilotus*, *Indigofera*, *Sesbania*, *Psoralea*, *Sutherlandia*, *Gleditschia*, *Ceratonia*, *Acacia*, *Cassia*, etc. Il y en a cinq enfin dans le *Faba* (1).

Quand il y a trois, quatre ou cinq faisceaux ligneux, les radicelles sont disposées en autant de rangées vis-à-vis de ces faisceaux ligneux. Quand il n'y en a que deux, elles sont disposées de part et d'autre des faisceaux ligneux en quatre rangées, plus ou moins rapprochées du côté de ces faisceaux. Dans ce dernier cas, la disposition quadrisériée a été méconnue par M. Clos, qui n'attribue que deux rangs de radicelles aux *Lupinus*, *Ononis*, *Genista*, etc. (*loc. cit.*, 1848, p. 22).

Suivons maintenant pas à pas la formation d'une radicelle dans quelques-uns des genres cités plus haut et que nous avons tous étudiés sous ce rapport. Considérons d'abord ceux où le phénomène est le plus simple, pour nous élever peu à peu jusqu'à ceux où il est le plus compliqué.

Commençons par un *Lotus*, et prenons pour exemple le *Lotus tenuis* ou le *L. Gebelia*. La racine terminale de cette plante a, sous l'assise pilifère, cinq assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, trois faisceaux ligneux confluents en étoile au centre, et trois faisceaux libériens munis chacun d'un paquet de fibres qui sépare les tubes criblés en deux couches, une couche externe contre le péricycle et une couche interne

(1) Le nombre des faisceaux ne demeure pas toujours constant dans les espèces d'un même genre. Ainsi les *Trifolium alexandrinum*, *maritimum*, etc., ont quatre faisceaux; les *T. glomeratum*, *Boissieri*, etc., en ont trois. De même le *Trigonella cærulea* a trois faisceaux; le *Tr. fœnum-græcum* en a ordinairement quatre. L'*Ervum gracile* a trois faisceaux; l'*E. Hohenackeri* en a cinq. Il serait facile de multiplier ces exemples.

contre le conjonctif (1). Pour former une radicelle, un arc péricyclique comprenant six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les divise tangentiellement à deux reprises, une première fois pour séparer en dedans le cylindre central, une seconde fois dans la rangée externe, à l'exception de la dernière cellule de chaque côté qui forme l'épistèle, pour isoler l'écorce et l'épiderme. En même temps, l'arc d'endoderme superposé, comprenant cinq cellules, dilate ses éléments et ne les divise que par des cloisons radiales, de manière à former autour du mamelon radicellaire une poche digestive simple, et qui reste telle jusqu'à la fin (fig. 164). A la sortie, l'épiderme de la radicelle ne s'est cloisonné que deux fois tangentiellement au sommet; l'assise externe se dédouble quelquefois à l'extrémité par une cloison tangentielle. Son écorce, terminée au sommet par deux initiales, ne s'est également divisée que deux ou trois fois vers la base, où commence à s'opérer le raccord des deux endodermes par l'intermédiaire des cellules triplissées. Son cylindre central se termine aussi au sommet par deux initiales, bien distinctes de celles de l'écorce.

La radicelle des *Lotus* se forme donc tout entière dans le péricycle; elle est enveloppée d'une poche endodermique simple et, sous cette poche, elle a pour son cylindre central, pour son écorce et pour son épiderme, des initiales parfaitement distinctes. En un mot, les choses se passent ici de tout point comme chez celles des Dicotylédones précédemment étudiées où le péricycle est simple et où la radicelle est entourée d'une poche endodermique simple.

Les choses se passent de même chez les *Amorpha* (*A. fragrans*, *fruticosa*, *Liverii*, etc.), mais avec structure binaire de la racine terminale et disposition diplostique des radicelles.

(1) Ces fibres libériennes, qui sont un des caractères anatomiques des Légumineuses, écrasent plus tard les tubes criblés externes, de manière à paraître extérieures au liber primaire, quand elles y sont en réalité intercalées. Leur présence a été signalée par l'un de nous dès 1871 [Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 217, 1871)].

Le cylindre central y a, en effet, un péricycle simple tout autour, deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène comprend, par exemple, dix cellules, huit d'un côté d'un faisceau ligneux, deux seulement de l'autre côté; ces cellules s'accroissent radialement et se cloisonnent ensuite tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions avec leurs initiales. La radicelle ainsi formée se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 45 degrés. Toutes ensemble, les radicelles forment donc quatre séries presque équidistantes. En même temps l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les divise que par des cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple, qui digère tout le reste de l'écorce et demeure simple jusqu'à la fin. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est divisé trois ou quatre fois tangentiellement au sommet. Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, s'est divisée deux fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes.

Les *Ornithopus* (*O. sativus*), qui ont la structure ternaire, se comportent comme les *Lotus*; les *Cercis* (*C. Siliquastrum*), qui ont la structure binaire, se comportent comme les *Amorpha*. Mais ici le péricycle, toujours simple vis-à-vis des faisceaux libériens, se montre double, quelquefois triple (*Cercis*), en dehors des faisceaux ligneux. Néanmoins, dans l'arc rhizogène, c'est le rang externe seul qui, en se cloisonnant deux fois tangentiellement, isole les trois régions avec leurs initiales; le rang interne, ou les deux internes quand il y en a trois, produisent seulement la partie inférieure du cylindre central. La radicelle procède donc tout entière de l'assise péricyclique externe. L'arc d'endoderme superposé se comporte d'ailleurs comme dans les deux exemples précédents, c'est-à-dire dilate ses cellules et ne les divise que par des cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la fin; elle se détache plus tard de son anneau basilaire, qui est incorporé. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné tangen-

tiellement vers le sommet trois ou quatre fois (*Cercis*), ou huit à dix fois (*Ornithopus*). Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée vers la base trois ou quatre fois (*Cercis*), ou un plus grand nombre de fois (*Ornithopus*); à la base même, se fait le raccord des endodermes.

Enfin les choses se passent encore de même dans une radicelle de *Mimosa pudica*, pourvue de trois faisceaux ligneux. Le péricycle y est simple. L'arc rhizogène s'y cloisonne suivant la règle et les paires d'initiales des trois régions demeurent bien distinctes. L'endoderme enveloppe la radicelle d'une poche simple et qui demeure telle jusqu'au bout (fig. 165).

Dans cette première catégorie d'exemples, la poche endodermique est simple dans toute son étendue. Ailleurs elle est encore simple au début et demeure telle à la base et sur les flancs, mais elle prend vers le sommet une ou plusieurs cloisons tangentielles qui l'épaississent à son extrémité.

La racine terminale des *Scorpiurus* (*Sc. vermiculatus, muricatus*), par exemple, a la structure ternaire avec un péricycle simple tout autour. L'arc péricyclique rhizogène comprend six cellules, trois de part et d'autre d'un faisceau ligneux, et les cloisonne deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, au nombre de cinq, et entoure le mamelon d'une poche digestive d'abord simple, mais qui, plus tard, prend au sommet une cloison tangentielle et y devient double (fig. 166). Avant la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris autour de l'extrémité huit à dix cloisons tangentielles et formé une calyptre épaisse. Son écorce, terminée par deux initiales, quelquefois par une seule, s'est divisée huit fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes.

Les *Tetragonolobus* (*T. biflorus*) ont la structure quaternaire avec un péricycle simple tout autour. L'endoderme y forme une poche digestive simple à la base, mais qui se divise tangentiellement deux fois de suite et de dehors en dedans vers le sommet, de manière à être triple à l'extrémité au moment de la sortie.

Le *Sarracha jaltomata* a la structure binaire avec un péricycle simple tout autour, produisant les radicelles, suivant la règle, de part et d'autre des faisceaux ligneux en quatre rangées. L'endoderme enveloppe la radicelle d'une poche digestive simple sur les flancs et qui se dédouble seulement au sommet par une cloison tangentielle.

Le *Bonaveria atlantica* a la structure ternaire des *Scorpiurus*, mais avec un péricycle ordinairement double en face des faisceaux ligneux, simple en dehors des faisceaux libériens. C'est le rang péricyclique externe qui produit les trois régions de la radicelle; l'interne ne donne que la base du cylindre central. Quelquefois le péricycle est simple et produit la radicelle suivant la règle ordinaire (fig. 167). L'endoderme forme une poche simple à la base et sur les flancs, mais qui prend au sommet une ou deux cloisons tangentielles, en y devenant double ou triple. Même structure ternaire avec péricycle double en face des faisceaux ligneux, même formation des radicelles aux dépens de l'assise péricyclique externe, avec poche digestive simple à la base, double sur les flancs, triple au sommet, dans le *Pocockia cretica* (fig. 168). Dans cette plante, au moment de la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné trois fois à l'extrémité; son écorce, terminée par une seule initiale, s'est divisée deux ou trois fois à la base, où s'opère le raccord des endodermes. L'épistèle y est très développée.

Le *Lespedeza macrocarpa* et le *Desmodium penduliflorum* ont la structure quaternaire des *Tetragonolobus*, mais avec un péricycle double en face des faisceaux ligneux, simple en dehors des faisceaux libériens produisant les trois régions de la radicelle par deux cloisonnements successifs du rang externe. L'endoderme forme une poche digestive simple latéralement, mais se cloisonnant successivement deux fois au sommet, en y devenant triple. Même structure quaternaire dans le *Ceratonia siliqua*, mais avec un péricycle triple en face des faisceaux ligneux, double en dehors des faisceaux libériens. C'est encore le rang externe seul qui produit, par

deux cloisonnements tangentiels successifs, les trois sortes d'initiales de la radicelle; les deux autres ne donnent que la partie inférieure du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé forme autour de la radicelle une poche digestive simple à la base et sur les flancs, mais double au sommet.

Les *Genista* (*G. linifolia*) ont la structure binaire du *Sarracha*, mais avec un péricycle double en face des faisceaux ligneux, simple en dehors des faisceaux libériens. Les radicelles y naissent de part et d'autre des faisceaux ligneux et se disposent en quatre séries; c'est le rang péricyclique externe seul qui, par deux cloisonnements tangentiels, produit les trois régions et l'épistèle; le rang interne ne donne que la base du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé, comprenant six cellules, enveloppe la radicelle d'une poche digestive d'abord simple et qui demeure telle à la base, mais qui prend vers le sommet deux cloisons tangentielles successives et devient ainsi triple à son extrémité.

Le *Soja hispida* a la structure quaternaire avec un péricycle triple en face des faisceaux ligneux, double en dehors des faisceaux libériens. L'arc rhizogène, dont le milieu répond à un faisceau ligneux, accroît et cloisonne ses trois assises; mais ce sont les cellules du rang externe seul qui, par deux cloisons tangentielles successives, produisent à la fois le sommet et la périphérie du cylindre central avec son initiale, l'écorce et l'épiderme (fig. 169). Les deux autres rangs ne donnent que la partie inférieure et intérieure, au début la plus volumineuse, du cylindre. L'arc d'endoderme superposé suit le développement du mamelon et l'entoure d'une poche simple d'abord et qui demeure telle sur les flancs, mais qui se dédouble autour de l'extrémité.

Dans une radicelle à trois faisceaux d'*Adenanthera pavonina*, le péricycle est double en dehors du bois, simple en face du liber. L'arc rhizogène, dont le milieu s'appuie sur un faisceau ligneux, accroît et cloisonne deux fois tangentiellement ses cellules externes pour former le sommet du cylindre central avec son initiale, l'écorce et l'épiderme (fig. 170).

Le rang interne s'accroît aussi, mais ne donne que la partie inférieure du cylindre. L'endoderme forme autour de la radicelle une poche simple à la base, mais double tout autour de l'extrémité.

Même formation des radicelles dans une racine de *Coulteria tinctoria*, pourvue de quatre faisceaux et d'un péricycle double en face des faisceaux ligneux. Mais ici la poche se divise deux fois et devient triple au sommet avant la sortie.

Dans une racine à deux faisceaux de *Cassia floribunda* ou de *C. polyantha*, l'assise sus-endodermique porte les cadres épaissis et lignifiés, signalés récemment par l'un de nous (1). Le péricycle y est simple tout autour. L'arc rhizogène, dont toutes les cellules sont situées du même côté d'un faisceau ligneux, se cloisonne comme d'ordinaire pour produire les trois régions de la radicelle avec leurs initiales (fig. 171). L'endoderme forme une poche digestive simple à la base, mais qui se divise bientôt tangentiellement à deux reprises et devient triple au sommet. Cette poche digère d'abord l'assise sus-endodermique avec son réseau, puis le reste de l'écorce. A la sortie, elle est détachée tout autour de la base, et entraînée comme un bonnet. A ce moment (fig. 172), l'épiderme de la radicelle compte cinq assises au sommet; son écorce, terminée par une seule initiale, a également cinq assises au niveau où l'épiderme se détache. Plus bas, l'épistèle s'amincit et enfin raccorde son assise interne avec l'endoderme par les cellules triplissées.

Cette seconde catégorie d'exemples ressemble à la première parce que la poche endodermique y est simple au début et demeure telle à la base et jusque plus ou moins haut sur les flancs; elle en diffère parce que la poche s'y cloisonne tangentiellement de dehors en dedans vers le sommet, un plus ou moins grand nombre de fois, de manière à y prendre une épaisseur plus ou moins grande. Dans une troisième

(1) Ph. Van Tieghem, *Sur le réseau sus-endodermique des Légumineuses et des Éricacées* (*Bull. de la Soc. bot.*, séance du 11 mai 1888).

série de genres, l'arc d'endoderme superposé à la radicelle se cloisonne tangentiellement de très bonne heure et dans toute son étendue, de manière à former une poche digestive double dès la base et qui, plus haut, cloisonne de nouveau une ou plusieurs fois son assise interne, en s'épaississant de plus en plus au sommet.

La racine terminale du *Trigonella fœnum-græcum*, par exemple, a, sous l'assise pilifère, dix assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux confluents au centre et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène péricyclique, comprenant six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les cloisonne deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions de la radicelle (fig. 173). L'arc d'endoderme superposé, comprenant sept cellules, se dédouble aussitôt tangentiellement dans toute son étendue en dehors des plissements, de manière à envelopper le mamelon radicellaire d'une poche digestive double; plus tard, l'assise interne accroît ses cellules radialement et les divise progressivement deux ou trois fois vers le sommet de dehors en dedans. Au moment de la sortie, la radicelle est donc enveloppée par une poche digestive double à la base, quadruple ou quintuple au sommet; les plissements, qui persistent sur l'assise interne, même autour de l'extrémité, permettent de faire exactement la part de ce qui revient à l'endoderme. Sous cette poche épaisse, l'épiderme de la radicelle ne s'est cloisonné que trois fois. Son écorce, terminée par deux initiales, ne s'est divisée que deux fois vers la base. A la plus grande épaisseur de la poche correspond donc un moindre développement de l'épiderme et de l'écorce. Le cylindre central a aussi deux initiales au sommet.

Les choses se passent de la même manière, avec la même structure quaternaire dans le *Clianthus puniceus* et le *Sesbenus ægyptiacus*, avec structure ternaire dans l'*Hedysarum coronarium*, avec structure binaire et disposition quadrisériée des radicelles dans les *Cytisus* (*C. hirsutus*, *C. Laburnum*).

Il en est encore de même, avec structure quaternaire, dans le *Medicago apiculata* et le *Gleditschia triacanthos*, avec structure ternaire dans l'*Onobrychis caput-galli*, avec structure binaire et disposition diplostique des radicelles dans le *Spartium junceum* et les *Lupinus* (*L. mutabilis*, *sulphureus*). Mais ici le péricycle, toujours simple en dehors des faisceaux libériens, est double et parfois même triple en dehors des faisceaux ligneux. C'est néanmoins le rang externe qui produit à lui seul les trois sortes d'initiales, l'interne ou les deux internes ne formant que la partie inférieure du cylindre central. La radicelle s'y constitue donc essentiellement comme dans les genres précédents. Dans les *Lupinus* (fig. 174), l'endoderme se cloisonne rapidement à partir de la base, de manière que la radicelle, encore très jeune, a déjà une poche digestive très épaisse. Les plissements, qui demeurent ici très nets, permettent toujours de faire dans le mamelon total la part de ce qui revient à la poche et de ce qui constitue la radicelle proprement dite.

Une radicelle à trois faisceaux de l'*Acacia linearis* a un péricycle simple et l'arc rhizogène s'y cloisonne suivant la règle pour produire la radicelle (fig. 175). L'arc d'endoderme prend en même temps une cloison tangentielle qui porte sur toute son étendue; après quoi de nouvelles cloisons s'y succèdent rapidement vers l'intérieur, de manière que la poche, double à la base, est formée autour de son extrémité de huit à dix assises au moment de la sortie.

Les choses se passent de même dans une radicelle à trois faisceaux d'*Albizzia lophantha*, avec cette différence que le péricycle y est double en face des faisceaux ligneux. C'est néanmoins l'assise externe seule qui, par deux cloisonnements, produit la radicelle; le rang interne ne forme que la base du cylindre central (fig. 176).

Enfin, dans une quatrième série d'exemples qu'il nous reste à étudier, non seulement l'endoderme mais encore l'avant-dernière assise corticale et parfois même les deux ou trois assises internes de l'écorce accroissent et cloisonnent leurs

cellules pour former autour de la radicelle une poche digestive plus ou moins épaisse dès la base, qui va s'épaississant encore vers le sommet par le cloisonnement tangentiel de ses diverses assises.

La racine terminale des *Lathyrus* (*L. sativus*, *bithynicus*, *chrysanthus*), par exemple, a, sous l'assise pilifère, dix à douze assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Son cylindre central a trois faisceaux ligneux non confluents au centre, trois faisceaux libériens alternes et un péricycle double en dehors des faisceaux ligneux, simple en face des faisceaux libériens. L'arc rhizogène péricyclique, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît ses deux rangs d'éléments; mais c'est le rang externe, composé de cinq ou sept grandes cellules, qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare les trois régions; le rang interne ne donne que la base du cylindre central (fig. 177). En même temps, l'endoderme et l'avant-dernière assise corticale dilatent leurs cellules et forment autour de la radicelle une poche d'abord double, qui, plus tard, cloisonne tangentiellement ses deux assises et devient quadruple. Ici l'avant-dernière assise corticale échappe donc à la digestion, au même titre que l'endoderme.

Il en est de même avec structure ternaire dans l'*Orobus pubescens* et dans le *Vicia sativa*, avec structure quaternaire dans le *Virgilia lutea*, l'*Arachis hypogæa* et le *Phaseolus Ricciardianus*. Dans cette dernière plante (fig. 178), le péricycle a souvent trois assises en face des faisceaux ligneux; mais c'est toujours l'assise externe qui s'accroît le plus et qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central avec son initiale; les deux autres ne produisent que la partie inférieure du cylindre central. Dans les radicelles ternaires ou binaires de *Tamarindus indica*, où le péricycle a constamment trois assises en dehors des faisceaux ligneux, les choses se passent de la même manière, tant sous le rapport de la formation de la radicelle dans l'assise externe, que sous le rapport de la poche (fig. 179

à 181). Dans les racines ternaires, les radicelles sont en face des faisceaux ligneux; dans les binaires, elles sont de chaque côté, leur déviation étant de 40 degrés. On comprend que toutes ces plantes ressemblent à celles de la troisième catégorie, où la poche digestive est également double dès la base par suite d'un dédoublement tangentiel de l'endoderme; on peut être embarrassé pour se prononcer entre les deux manières d'être, si l'on n'a pas suivi les tout premiers développements. La chose est d'ailleurs sans importance.

La racine terminale du *Cicer arietinum* a la structure quaternaire avec un péricycle simple en dehors des faisceaux libériens, triple, quelquefois double seulement en dehors des faisceaux ligneux. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît radialement ses trois assises cellulaires; mais c'est l'assise externe qui, par deux cloisonnements tangentiels successifs, produit à elle seule l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central avec les initiales des trois régions; les deux autres, ou l'interne s'il n'y en a que deux, ne forment que la partie inférieure du cylindre central (fig. 182 à 184). En même temps l'endoderme, ainsi que la pénultième et l'antépénultième assises corticales, dilatent leurs cellules et forment autour de la radicelle une poche digestive triple dès la base, qui, plus tard, cloisonne tangentiellement une ou deux de ses assises internes et acquiert ainsi quatre ou cinq rangs au sommet au moment de la sortie.

Il en est de même, avec structure également quaternaire, dans les *Phaseolus vulgaris* et *multiflorus*, avec cette différence qu'outre l'endoderme, quatre ou même cinq assises corticales dilatent leurs cellules pour former une poche digestive encore plus épaisse que dans le *Cicer*.

L'*Hosackia Wrangeliana* a la structure ternaire, avec un péricycle double en face des faisceaux ligneux. L'endoderme et les deux assises corticales suivantes dilatent en même temps leurs cellules, de manière à envelopper la radicelle dans une poche triple à la base, qui, plus tard, prend une cloison tan-

gentielle dans chacune de ses trois assises et acquiert six épaisseurs autour de l'extrémité, ressemblant ainsi à la poche du *Cicer*.

Le *Pisum sativum* a aussi la structure ternaire, avec un péricycle ordinairement triple en dehors des faisceaux ligneux. L'endoderme et les trois ou quatre assises corticales internes dilatent à la fois et cloisonnent leurs cellules pour former une poche digestive dont l'épaisseur est encore augmentée autour de l'extrémité par le cloisonnement tangentiel de plusieurs des assises qui la constituent (fig. 185 et 186). A la sortie, la poche se compose au sommet de sept ou huit assises cellulaires. Sous cette poche épaisse, l'épiderme de la radicelle ne s'est cloisonné que quatre fois au sommet. Son écorce, terminée par une initiale, ne s'est divisée que trois fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes par l'intermédiaire des cellules triplissées. Le cylindre central est terminé par une initiale provenant de la portion interne de la cellule médiane du rang péricyclique externe (fig. 186).

Enfin le *Faba vulgaris* a sa racine terminale quinaire, avec un péricycle triple en face des faisceaux ligneux. La radicelle s'y constitue comme dans les exemples précédents, aux dépens de l'assise externe du péricycle. La poche qui l'enveloppe est formée à la fois par l'endoderme et par les quatre assises corticales internes, en sorte qu'elle est quintuple dès la base. A la sortie, elle peut compter huit à dix assises autour de l'extrémité.

C'est dans cette dernière catégorie de genres, où la poche digestive possède dès la base une grande épaisseur, que l'origine des radicelles offre le plus haut degré de complication. Or, c'est précisément chez elle que M. de Janczewski a choisi les trois exemples qu'il a étudiés : *Cicer arietinum*, *Pisum sativum*, *Phaseolus vulgaris*. C'est ce qui explique qu'il se soit aussi complètement mépris. Son erreur consiste à avoir regardé d'une part la poche digestive épaisse, qui est en effet d'origine corticale, comme constituant à la fois l'épiderme et l'écorce de la radicelle, d'autre part tout ce qui provient du

péricycle, c'est-à-dire la radicelle tout entière, comme n'en étant que le cylindre central. Au lieu de ces plantes, si ce savant botaniste avait étudié l'un de ces genres où la poche digestive est simple dans toute son étendue ou tout au moins sur les flancs, un *Amorpha*, par exemple, un *Ornithopus*, un *Mimosa*, etc., il aurait certainement vu tout de suite les choses comme elles sont.

En résumé, chez les Légumineuses, comme chez toutes les autres Dicotylédones étudiées jusqu'à présent, la radicelle se forme tout entière dans le péricycle de la racine mère; les initiales de ses trois régions se découpent, par deux cloisons tangentielles successives, dans toute l'épaisseur du péricycle, s'il est simple, dans son assise externe seulement, s'il est double ou triple (1). Partout aussi l'endoderme enveloppe la radicelle d'une poche digestive; mais, suivant les genres, cette poche est simple dans toute son étendue, ou simple à la base et dédoublée au sommet, ou double dès la base, ou enfin formée dès la base de plusieurs assises indépendantes, parce qu'une ou plusieurs assises corticales s'ajoutent à l'endoderme pour la former. L'épaisseur de la poche varie donc beaucoup dans cette famille; mais nous avons déjà rencontré des variations semblables dans plusieurs autres familles, et les Légumineuses ne nous offrent rien de nouveau sous ce rapport.

Nous avons laissé de côté jusqu'ici la question des initiales; il était nécessaire, en effet, de préciser tout d'abord le lieu et le mode de formation de la radicelle dans son ensemble. C'est le moment d'y revenir. On sait que d'après MM. Prantl, Russow, de Janczewski, Eriksson, Flahault, la racine des Légumineuses n'aurait au sommet qu'un groupe d'initiales commun à ses trois régions, groupe que M. de Janczewski désigne sous le nom d' « assise génératrice transverse » (*loc.*

(1) Dans la note préliminaire citée plus haut que nous avons publiée sur ce sujet en 1886, nous avons admis que, dans le *Cicer* et dans le *Pisum*, l'assise externe du péricycle ne produit que l'épiderme et l'écorce de la radicelle, la seconde assise engendrant le cylindre central. Il y a là, comme on l'a vu plus haut, un point à rectifier.

cit., p. 25 et 56). Toutefois M. Flahault admet que chez quelques genres (*Lupinus*, *Cercis*, *Tamarindus*, *Gymnocladus*, *Acacia*, *Mimosa*), la racine terminale embryonnaire a des initiales propres pour son cylindre central; les initiales de l'écorce et de la calyptre y demeurent néanmoins confondues (*loc. cit.*, p. 144). On a vu qu'en ce qui concerne la radicelle encore renfermée dans l'écorce de la racine mère, défalcation faite de la poche plus ou moins épaisse qui la recouvre, les initiales de l'épiderme calyptrogène, celles de l'écorce toujours disposées en un seul rang, et celles du cylindre central sont partout distinctes. Elles sont seulement plus ou moins fortement différenciées; quand elles le sont beaucoup, il est facile de les voir; quand elles le sont peu, il est plus difficile d'en fixer la position, et il faut apporter à l'analyse du méristème une attention plus grande. C'est toute la différence, et nous avons déjà rencontré dans d'autres familles des variations analogues. Sous ce rapport encore, les Légumineuses, loin de constituer un type à part, ressemblent à toutes les autres Dicotylédones étudiées jusqu'ici.

En somme, on voit qu'il y a deux points importants à rectifier dans les connaissances admises jusqu'à présent comme classiques relativement à la famille des Légumineuses : le premier, c'est la formation des radicelles dans le péricycle; le second, c'est l'existence d'initiales distinctes pour les trois régions de la radicelle.

Nous pouvons maintenant aborder l'étude d'un troisième problème, dont la solution exige au préalable non seulement la connaissance particulière du mode de formation des radicelles de ces plantes que nous venons d'acquérir, mais encore la notion générale du phénomène de la polystélie signalé récemment par l'un de nous à l'attention des botanistes (1). Il s'agit de ces petits tubercules, simples ou divisés, que toutes les Légumineuses produisent, comme on sait, sur leurs racines.

(1) Ph. Van Tieghem, *Structure de la tige des Primevères* (*Bull. de la Soc. bot.*, XXXIII, p. 95, 1886). Voy. aussi : Ph. Van Tieghem et H. Douliot, *Sur la polystélie* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, III, p. 275, 1886).

Depuis que Malpighi les a découverts, il y a deux cents ans, ces tubercules ont été considérés de deux manières très différentes par les nombreux auteurs qui les ont étudiés. Pour les uns, ce sont des productions anomales, pathologiques : galles d'insectes (Malpighi, 1687), exostoses charnues (de Candolle, 1825), lenticelles hypertrophiées (M. Clos, 1848, 1852), mais surtout galles de Champignons (M. Woronine, 1866 et 1878; M. Eriksson, 1874; M. Frank, 1878; M. Kny, 1879; M. Prillieux, 1879; M. Schindler, 1884; M. Lundström, 1887; M. Mattirolo, 1887). Pour les autres, ce sont des productions normales, renflées pour servir de réservoirs nutritifs : bourgeons adventifs (Treviranus, 1853), radicelles ou racines adventives (Gasparrini, 1851; Kolaczeck, 1856; Lachmann, 1858; M. de Vries, 1877) ou de nature morphologique indéterminée (Brunchhorst, 1885; Frank, 1887; Tschirch, 1887).

Nos recherches à leur sujet nous ayant amenés à partager la seconde manière de voir, il devenait nécessaire de fixer définitivement la nature morphologique de ces productions reconnues normales. A cet effet, il fallait en rechercher l'origine et en démêler la structure ; c'est à quoi nous nous sommes appliqués sur diverses espèces appartenant aux genres *Trifolium*, *Melilotus*, *Trigonella*, *Medicago*, *Lotus*, *Ornithopus*, *Vicia*, *Orobus*, *Lathyrus*, etc. (1).

Quelle que soit la plante étudiée, les tubercules naissent tout entiers dans le péricycle de la racine mère, en face des faisceaux ligneux s'il y en a plus de deux, de chaque côté des faisceaux ligneux s'il n'y en a que deux; leur première origine ne diffère donc pas de celle des radicelles ordinaires. Comme pour les radicelles aussi, l'endoderme et quelquefois les assises corticales internes de la racine mère agrandissent et cloisonnent leurs cellules autour d'eux, de façon à les envelopper d'une poche digestive plus ou moins épaisse, qui

(1) Les résultats de cette étude ont été communiqués par nous à la Société botanique dans une note intitulée : *Origine, structure et nature morphologique des tubercules radicaux des Légumineuses* (*Bulletin*, séance du 10 février 1888).

digère le reste de l'écorce, les accompagne jusqu'après leur sortie et forme à leur surface une couche subérifiée. Par leur origine et leur diposition, les tubercules radicaux sont donc des radicelles arrêtées dans leur croissance et renflées (1).

Mais sont-ce des radicelles ordinaires, limitées dans leur développement et demeurant enveloppées dans leur poche comme celle des *Æsculus* (p. 167), qui auraient simplement renflé soit leur écorce comme dans la Ficaire, soit leur moelle comme dans l'Asphodèle ou l'Hémérocalle? Il suffit d'étudier la section transversale d'un tubercule vers le milieu de sa longueur, pour voir que ce n'est pas une radicelle ordinaire. La région centrale, en effet, est occupée par un tissu à grandes cellules contenant des matières albuminoïdes de réserve, sous la forme de petits bâtonnets. Tout autour est une zone de cellules plus petites renfermant, disposés en cercle, un plus ou moins grand nombre de cordons libéroligneux. Chacun de ces cordons est entouré d'un endoderme propre et se compose d'un péricycle unisérié, de deux faisceaux ligneux qui confluent souvent au centre en une bande diamétrale et de deux faisceaux libériens alternes. En un mot, chacun d'eux est un cylindre central binaire de racine (2). Le tubercule est donc une radicelle polystélique. Au sommet, les diverses stèles

(1) D'après M. Eriksson et M. Prillieux, les tubercules prendraient naissance dans la couche profonde de l'écorce. Il en serait de même d'après M. Tschirch, à l'exception toutefois des Lupins, qui forment leurs tubercules dans le péricycle. Mais, d'après les observations de M. de Janczewski, rappelées plus haut, les radicelles ordinaires de ces plantes tireraient aussi leur origine, au moins pour leur écorce et leur coiffe, de la zone corticale interne de la racine mère. Il y a là une double erreur, tenant à ce que, de part et d'autre, on a regardé la poche digestive, qui est en effet d'origine corticale, comme faisant partie intégrante de la radicelle.

(2) Habituellement l'un des deux faisceaux libériens, celui qui est tourné vers la périphérie du tubercule, fait défaut, et la bande vasculaire constituée par la confluence des deux faisceaux ligneux est reportée de ce côté contre le péricycle. Mais cet appauvrissement du cylindre central, qui devient par là symétrique par rapport à un plan, se rencontre aussi ailleurs dans les tiges polystèles (Auricule, etc.) et dans les racines polystèles (Sélaginelle, Isoète, certains Lycopodes, etc.).

se séparent quelquefois progressivement les unes des autres, entourées chacune par une écorce propre, ce qui donne lieu à des tubercules diversement palmés, digités ou coralloïdes.

Ordinairement il n'y a, à la base même du tubercule, qu'un seul cylindre central axile, inséré sur le cylindre central de la racine mère; bientôt ce cylindre se bifurque et ses deux branches divergent fortement pour se porter vers la périphérie; puis, chacune d'elles se bifurque de nouveau à plusieurs reprises dans le plan tangent, pour produire toutes les stèles que l'on rencontre dans la zone périphérique au niveau où le tubercule a sa plus grande largeur. Il s'agit donc bien ici d'une polystélie vraie, comme celle de la tige des Auricules, par exemple, et non pas seulement d'une polystélie apparente, résultant de la concrescence de racines rapprochées en faisceau, comme dans les tubercules des Ophrydées, par exemple.

Pourtant, il n'est pas rare que le tubercule possède, à sa base même, deux, trois ou quatre cylindres centraux distincts, insérés en des points rapprochés sur le cylindre central de la racine mère, soit l'un au-dessus de l'autre vis-à-vis du même faisceau ligneux, soit l'un à côté de l'autre vis-à-vis de faisceaux ligneux différents ou de part et d'autre du même faisceau ligneux si la racine mère est binaire, et se bifurquant ensuite chacun à plusieurs reprises comme dans le cas ordinaire. Le tubercule est alors constitué par plusieurs radicelles polystéliques concrescentes. Le phénomène de la polystélie s'y complique du phénomène de la concrescence.

Enfin on rencontre aussi çà et là de petits tubercules plus grêles que les autres, qui ne possèdent dans toute leur longueur qu'un seul cylindre central axile, qui sont simplement des radicelles ordinaires à croissance limitée et à poche persistante, comme celles des *Æsculus* (p. 167). Pour être très fréquente, la polystélie n'est donc pas absolument nécessaire à la tuberculisation.

En résumé, les tubercules radicaux des Légumineuses sont des radicelles ordinairement simples et polystéliques, quelquefois multiples et polystéliques, plus rarement simples et mo-

nostéliques. La polystélie est ici le mécanisme ordinaire de la tuberculisation.

Connarées (pl. XIII, fig. 187). — La racine terminale du *Bernardinia salicifolia* a, sous l'assise pilifère, six à huit assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre, et deux faisceaux libériens alternes séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux assises conjonctives. Pour former une radicelle, un arc péricyclique comprenant huit cellules, six d'un côté d'un faisceau ligneux, deux seulement de l'autre côté, accroît radialement ses éléments et les divise par deux cloisons tangentielles successives, de manière à séparer les trois régions avec leurs initiales; le mamelon se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 40 degrés. Toutes ensemble, les radicelles primaires sont donc disposées sur le pivot en quatre séries presque équidistantes. L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules et ne les divise que par quelques cloisons radiales, de façon à ormer une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la fin. Un peu avant la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné deux fois au sommet; son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée aussi deux fois vers la base, où commence à s'établir le raccord des endodermes.

Rosacées (pl. XIII, fig. 188-194 et pl. XIV, fig. 195). —La racine terminale des Rosacées a, suivant les genres, la structure dimère (*Fragaria*, *Potentilla*, *Geum*, *Sibbaldia*, *Poterium*, *Alchemilla*, etc.), tétramère (*Prunus*, *Cerasus*, *Rosa*, *Pirus*, *Malus*, *Mespilus*, etc.), ou hexamère (*Amygdalus*, etc.). Dans les deux derniers cas, les radicelles primaires sont disposées en quatre ou six rangées vis-à-vis des faisceaux ligneux. Dans le premier, elles sont situées sur quatre séries longitudinales, plus ou moins rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. Cette disposition quadrisériée a été méconnue par M. Clos, qui assigne deux rangs de radicelles aux *Potentilla*, *Sibbaldia*, etc. (*loc. cit.*, 1848, p. 24).

Prenons pour premier exemple le *Laurocerasus vulgaris*. La racine terminale a, sous l'assise pilifère, six assises corticales dont la dernière est un endoderme muni des plissements ordinaires. Les cellules de l'avant-dernière assise, en contact avec l'endoderme, portent au milieu de leurs faces latérales et transverses une large bande d'épaississement, fortement lignifiée, et sont ainsi pourvues chacune d'un cadre de soutien. Çà et là une cellule de l'avant-dernière assise porte aussi de pareilles bandes. Tous ensemble, ces cadres, qui se correspondent exactement d'une cellule à l'autre, forment ce réseau sus-endodermique à mailles rectangulaires, dont l'un de nous a récemment signalé l'existence et étudié les principales modifications dans la famille de Rosacées (1). Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, quatre faisceaux ligneux non confluents et quatre faisceaux libériens alternes. Au niveau où naissent les radicelles, le réseau sus-endodermique est déjà constitué et fortement épaissi.

L'arc péricyclique rhizogène, comprenant huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les divise ensuite tangentiellement à deux reprises suivant la règle ordinaire, pour séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. L'endoderme dilate ses cellules et enveloppe le mamelon d'une poche digestive simple. Cette poche attaque, ramollit et finalement dissout complètement l'assise sus-endodermique avec ses cadres d'épaississement; cette disparition totale de cordons de cellulose aussi épais et aussi fortement lignifiés témoigne suffisamment de la puissance de l'action digestive exercée par la poche sur les tissus extérieurs. Le réseau sus-endodermique une fois perforé, la poche résorbe ensuite une à une, comme partout ailleurs, toutes les autres assises corticales. A la sortie, elle est encore simple à la base, où elle sera bientôt digérée, et sur les flancs; mais elle est ordinairement dédoublée

(1) Ph. Van Tieghem, *Sur le réseau sus-endodermique de la racine des Rosacées* (*Bull. de la Soc. bot.*, XXXIV, p. 221, 1887).

par une cloison tangentielle au sommet. A ce moment, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné cinq fois autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée aussi quatre ou cinq fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Si, au lieu de la racine terminale quaternaire, on étudie une de ses radicelles à structure binaire, on voit que les choses s'y passent de la même manière, avec cette différence que l'arc rhizogène péricyclique est situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux, posant, par exemple, six de ses cellules d'un côté, deux seulement de l'autre; la radicelle secondaire fait donc une déviation d'environ 40 degrés, et toutes les radicelles secondaires sont disposées sur la radicelle primaire en quatre séries.

La racine terminale du *Cerasus arduennensis* a la même structure quaternaire, avec un réseau sus-endodermique ayant souvent deux cadres parallèles sur chaque cellule et un endoderme fortement subérifié en dehors des faisceaux libériens (fig. 188). La radicelle s'y fait aussi de la même manière dans le péricycle unisérié. La poche endodermique y demeure longtemps simple, c'est seulement un peu avant la sortie qu'elle prend au sommet une cloison tangentielle. A ce moment, l'épiderme de la radicelle n'a découpé encore que deux assises, mais l'externe s'est dédoublée à son tour, de sorte qu'il est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, s'est divisée trois fois à la base.

Même structure quaternaire avec réseau sus-endodermique dans la racine terminale du *Prunus acuminata*, à cette différence près, que le péricycle y est double tout autour (fig. 189). L'arc rhizogène accroît et cloisonne ses deux rangs de cellules; mais c'est le rang externe qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare d'abord le sommet du cylindre central avec son initiale, puis l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle; le rang interne ne donne que la région intérieure et basilaire du cylindre central (fig. 190). L'arc d'endoderme superposé forme une poche digestive simple, et qui reste telle

assez longtemps, mais qui, à la sortie, se montre souvent dédoublée au sommet; elle est à ce moment digérée autour de la base (fig. 191).

La racine terminale de l'*Amygdalus communis* a la structure hexamère, avec un réseau sus-endodermique double, refoulé à la fois vers la face externe et interne des cellules; mais le péricycle y a trois ou quatre assises en face des faisceaux ligneux, deux ou trois en dehors des faisceaux libériens. L'arc rhizogène accroît radialement et cloisonne tous ses éléments. Mais c'est l'assise externe seule, qui, par deux cloisonnements tangentiels successifs, sépare l'épiderme, l'écorce et la périphérie du cylindre central avec son initiale. Les autres assises ne produisent que la portion interne et inférieure, au début la plus considérable, du cylindre. En même temps, l'arc d'endoderme superposé se développe autour du mamelon, et bientôt prend, dans sa région médiane, une cloison tangentielle. La poche digestive est donc double de bonne heure autour de l'extrémité. L'assise sus-endodermique, qui avait perdu ses cadres épaissis, suit pendant quelque temps la croissance du mamelon, en divisant ses cellules par des cloisons radiales, et contribue ainsi à épaissir la poche.

Une racine à structure quaternaire de *Nuttallia cerasiformis* produit ses radicelles dans un péricycle simple en face des faisceaux ligneux, comme dans le *Laurocerasus* et le *Cerasus*, avec poche endodermique digérant d'abord un puissant réseau de soutien; mais ici, la poche se dédouble plus près de la base et se montre triple au sommet au moment de la sortie.

Une racine à structure binaire de *Neviusa alabamensis* produit aussi ses radicelles dans un péricycle simple, mais avec une déviation de 45 degrés, en quatre séries équidistantes par conséquent. Ici encore, la poche digère d'abord un réseau sus-endodermique très épais, mais elle reste simple, même au sommet, jusqu'après la sortie. Un peu plus haut, cette racine était ternaire, mais déjà les radicelles s'y formaient en correspondance avec deux seulement des faisceaux ligneux et offraient une déviation très marquée; en face du troisième

faisceau, sur le point de s'arrêter un peu plus bas, il ne s'en produisait plus. Nous avons signalé déjà plusieurs exemples de cette introduction anticipée de la disposition diplostique dans une racine qui n'est pas encore binaire, mais qui va le devenir bientôt; nous en rencontrerons d'autres par la suite; le fait paraît général.

Une racine latérale de *Rubus idœus* a six faisceaux ligneux et six faisceaux libériens alternes disposés en cercle autour d'une large moelle, avec un péricycle souvent double en face des faisceaux ligneux, quelquefois simple. Quand le péricycle est double, les trois sortes d'initiales se découpent par deux cloisons tangentielles dans l'assise externe; l'assise interne ne donne que la base du cylindre central. L'endoderme dilate ses cellules et forme autour du mamelon une poche qui attaque d'abord l'assise sus-endodermique avec son puissant réseau de soutien, puis progressivement tout le reste de l'écorce. Elle demeure longtemps simple et continue; mais à la sortie, elle se montre ordinairement digérée à la base et dédoublée au sommet. A ce moment, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné trois ou quatre fois à l'extrémité. Son écorce, terminée souvent par une grande initiale, s'est divisée quatre fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes.

Une racine de *Spirœa flexuosa* a son assise sus-endodermique pourvue d'un réseau dont les bandes sont refoulées dans les angles externes et accompagnées souvent d'une ou de deux bandes supplémentaires sur les faces externes des cellules (fig. 192). Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux non confluents et deux faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène comprend six à huit cellules, situées toutes du même côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'allongent radialement et se cloisonnent suivant la règle pour donner les trois régions de la radicelle, qui fait une déviation d'environ 45 degrés. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et digère d'abord les cadres épaissis du réseau, puis les membranes minces qui les portent; il forme autour du mamelon une poche simple, dédoublée seulement

au sommet au moment de la sortie, et résorbée alors un peu au-dessus de la base (fig. 193). A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris au sommet quatre ou cinq cloisons tangentielles. Son écorce, terminée par une initiale accompagnée de deux segments entiers, s'est divisée tangentiellement quatre fois vers la base, où se fait, à travers l'épistèle, le raccord des endodermes.

Une racine de *Stranvæsia glaucescens* a, dans son cylindre central, un péricycle simple tout autour, quatre faisceaux ligneux non confluents au centre, et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, cloisonne tangentiellement deux fois ses cellules pour séparer les trois sortes d'initiales. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise par des cloisons radiales, en enveloppant la radicelle d'une poche digestive simple, qui digère d'abord l'assise sus-endodermique avec son réseau de soutien, puis tout le reste de l'écorce. A la sortie, elle est résorbée à la base et demeure simple dans toute son étendue, ou ne se dédouble qu'au sommet même. A ce moment, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné huit à dix fois tangentiellement à l'extrémité pour former une épaisse calyptre à cellules empilées. Son écorce, terminée par deux initiales étroites et hautes, s'est divisée huit fois vers la base, où s'établit le raccord des endodermes. Le cylindre central a aussi au sommet deux initiales.

Les choses se passent essentiellement de la même manière dans les racines quaternaires du *Pirus communis*, du *Malus acerba*, du *Cydonia vulgaris*, du *Mespilus germanica*. Dans celle du *Raphiolepis ovata*, le péricycle est double tout autour. Néanmoins, les trois régions de la radicelle avec leurs initiales proviennent toutes ensemble du double cloisonnement tangentiel de l'assise externe; le rang interne ne donne que la partie inférieure du cylindre central. Dans une radicelle binaire de *Cratægus purpurea*, le péricycle est double en dehors des faisceaux ligneux, simple en face des faisceaux libériens. L'arc rhizogène est situé latéralement par rapport

à un faisceau ligneux, de manière que la radicelle fait une déviation d'environ 45 degrés. C'est le rang externe seul qui, par deux cloisonnements tangentiels, donne le sommet du cylindre central, l'écorce et l'épiderme; le rang interne s'accroît peu et ne produit que la base du cylindre.

Une racine d'*Agrimonia Eupatoria* a trois faisceaux ligneux confluents au centre, trois faisceaux libériens et un péricycle ordinairement double tout autour, çà et là simple en face des faisceaux ligneux. Ici le réseau sus-endodermique, plus tardif que d'habitude, n'est pas encore développé au niveau où naissent les radicelles. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, découpe les trois sortes d'initiales dans son rang externe, quand il en a deux. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les cloisonne radialement, comme dans les exemples précédents. Mais, en outre, l'assise sus-endodermique, encore extensible puisque le réseau n'y est pas développé, se comporte comme l'endoderme. Ensemble, ces deux assises forment autour du mamelon une poche digestive double dans toute son étendue. Un peu avant la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné deux fois autour du sommet Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, s'est divisée trois fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

La racine terminale du *Margyricarpus setosus* a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales dont l'avant-dernière est à tout âge dépourvue de réseau de soutien, et dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, deux faisceaux ligneux non confluents, et deux faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène comprenant sept cellules, cinq d'un côté d'un faisceau ligneux, deux seulement de l'autre côté, accroît radialement ses éléments et les cloisonne d'abord deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions. La radicelle ainsi formée offre une déviation d'environ 35 degrés. En même temps, l'endoderme et l'avant-dernière assise corticale dilatent ensemble leurs cellules, les cloisonnent radialement et enveloppent la radicelle d'une

poche digestive double dans toute son étendue, qui devient triple au sommet avant la sortie par le dédoublement de l'assise endodermique. A ce moment, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné deux fois autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée deux fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes.

Même structure binaire avec disposition quadrisériée des radicelles et même absence de réseau sus-endodermique dans la racine terminale du *Poterium Magnolii*. Mais ici le péricycle a deux rangs en dehors des faisceaux ligneux (fig. 194); c'est néanmoins le rang externe seul qui découpe les trois sortes d'initiales; l'interne ne forme que la base du cylindre central. En outre, l'endoderme seul se dilate autour du mamelon et l'enveloppe d'une poche digestive simple jusqu'à la sortie, ou qui n'offre que çà et là une cellule dédoublée. L'assise sus-endodermique est digérée par cette poche, aussi bien que les autres assises corticales. Un peu avant la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris deux cloisons tangentielles au sommet. Son écorce, terminée par une seule initiale, s'est divisée deux fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Son cylindre central a aussi une seule initiale au sommet (fig. 194).

Une racine latérale d'*Alchemilla vulgaris* a, sous l'assise pilifère, vingt à vingt-cinq assises corticales dont l'avant-dernière est dépourvue de cadres épaissis. Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, six faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens alternes, autour d'une large moelle. L'arc rhizogène cloisonne ses cellules suivant la règle pour séparer les trois régions de la radicelle. L'arc d'endoderme superposé entoure le mamelon d'une poche simple et qui demeure telle jusqu'à la sortie, où elle est digérée à la base par l'épaississement de l'écorce, et entraînée en forme de bonnet. L'action digestive de la poche se fait sentir dans l'écorce à une assez grande distance autour de la radicelle. Tout en conservant leurs membranes, les cellules de cette zone prennent, en effet, un aspect particulier. A plusieurs reprises,

nous avons observé dans cette plante la formation de radicelles doubles insérées en face d'un faisceau libérien.

La racine terminale du *Sibbaldia procumbens* a aussi la structure binaire sans réseau sus-endodermique. La radicelle prend naissance dans le péricycle simple, latéralement par rapport à un faisceau ligneux, suivant le mode normal. Elle est enveloppée par une poche endodermique simple et qui demeure telle jusqu'à la fin.

Le *Quillaja saponaria* est également dépourvu de réseau sus-endodermique (pl. XIV, fig. 195). Une racine de cette plante a, sous une écorce épaisse, terminée par un endoderme ordinaire, un péricycle double ou triple tout autour, quatre faisceaux ligneux disposés autour d'une large moelle et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît radialement ses deux ou trois rangs de cellules; mais les trois régions de la radicelle avec leurs initiales procèdent toutes ensemble du double cloisonnement tangentiel du rang externe seul, le rang interne, ou les deux internes quand il y en trois, ne produisant que la base du cylindre central.

En même temps, non seulement l'endoderme, mais aussi l'avant-dernière assise corticale, dilatent leurs cellules et les cloisonnent de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive double dès la base, qui digère progressivement tout le reste de l'écorce. De bonne heure, l'assise interne, endodermique, de la poche, se divise par une cloison tangentielle, de sorte que la poche est déjà triple à une petite distance de sa base. Plus tard, elle prend jusqu'à sept ou huit épaisseurs au sommet par de nouvelles cloisons tangentielles dans ses deux assises, mais surtout dans l'interne, l'externe ne faisant guère que se dédoubler. Ainsi constituée au moment de la sortie, cette poche épaisse ressemble tout à fait à celle des Légumineuses à poche composée étudiées plus haut (*Cicer*, *Pisum*, etc.). Nul doute, si M. de Janczewski eût étudié cette plante, qu'il ne l'eût rattachée au même type que les Légumineuses en question.

En résumé, à quelque tribu qu'elles appartiennent, les Rosacées produisent leurs radicelles de la même manière. Partout la radicelle y naît tout entière dans le péricycle de la racine mère, découpant ses trois régions avec leurs initiales dans son assise unique, ou dans l'assise externe, s'il y en a plusieurs. Partout ses initiales demeurent bien distinctes, quoique plus ou moins différenciées suivant les genres, et il n'y en a qu'un rang pour l'écorce (1). Partout aussi elle est enveloppée par une poche digestive, mais cette poche est plus ou moins épaisse. Tantôt elle procède uniquement de l'endoderme; elle demeure alors simple dans toute son étendue, ou se dédouble au sommet. Tantôt elle est composée de l'endoderme et de l'avant-dernière assise corticale, elle est double dès la base; elle reste alors double dans toute son étendue, ou augmente d'épaissseur en se cloisonnant vers le sommet. En un mot, la poche offre ici les mêmes variations que chez les Légumineuses.

Célastracées. — Une racine d'*Evonymus japonicus* a, sous l'assise pilifère, douze assises corticales pourvues çà et là de mâcles d'oxalate de chaux, dont la dernière est un endoderme plissé. Le cylindre central a deux faisceaux ligneux confluents au centre, deux faisceaux libériens, et un péricycle simple en dehors des faisceaux libériens, double vis-à-vis des faisceaux ligneux. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu est situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux, accroît ses deux rangs de cellules; mais c'est le rang externe seul qui se cloisonne pour séparer les trois régions avec leurs initiales; l'interne ne produit que la base du cylindre central. L'arc

(1) D'après M. Flahault, la racine terminale embryonnaire des Rosacées aurait parfois des initiales communes pour l'écorce et l'épiderme (*Fragaria*, *Rubus*, etc.), et quand les trois sortes d'initiales sont distinctes, il y aurait d'ordinaire plusieurs assises d'initiales pour l'écorce : deux (*Gillenia*, *Rhodotypus*, *Malus*, etc.), ou trois (*Cratægus*, *Pirus*, etc.) (*loc. cit.*, p. 141). Dans les nombreux exemples étudiés par nous, la radicelle a toujours ses trois sortes d'initiales distinctes et celles de l'écorce, au nombre d'une ou de deux, ne forment jamais qu'un seul rang.

d'endoderme superposé dilate ses cellules et forme autour de la radicelle une poche digestive, d'abord simple, mais qui se cloisonne plus tard tangentiellement vers l'extrémité et devient double autour du sommet. A la sortie, les trois sortes d'initiales de la radicelle sont peu différenciées et les trois régions du membre semblent ne faire qu'un tout homogène.

Ilicinées (pl. XIV, fig. 196). — Une racine d'*Ilex Aquifolium* a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, trois faisceaux ligneux non confluents au centre et trois faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, comprenant huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les divise deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions de la radicelle. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et enveloppe le mamelon d'une poche digestive simple sur les flancs, mais qui se dédouble une ou deux fois au sommet. Avant la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est divisé trois fois tangentiellement autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par deux initiales avec deux segments entiers, s'est divisée deux fois vers la base, où commence à s'établir le raccord des endodermes. Le cylindre central a aussi deux initiales au sommet.

Vitées (pl. XIV, fig. 197). — Une racine de *Vitis vinifera* a, sous l'assise pilifère, sept assises corticales, contenant çà et là un paquet de raphides, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux non confluents au centre, et deux faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène, latéralement situé par rapport à un faisceau ligneux, accroît radialement ses cellules et les cloisonne deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions de la radicelle. L'endoderme dilate ses cellules et ne les cloisonne que radialement, de manière à envelopper le mamelon d'une poche endodermique simple, plus tard digérée tout autour de la base. La radicelle se dirige à travers l'écorce

avec une déviation d'environ 30 degrés. A la sortie, son épiderme s'est cloisonné trois fois au sommet. Son écorce, terminée par deux larges initiales, s'est divisée trois fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes; elle renferme déjà çà et là une cellule à raphides.

Une grosse racine d'*Ampelopsis heterophylla* a, sous l'endoderme, un péricycle épais, composé de trois rangs de grandes cellules tout autour, çà et là seulement de deux ou de quatre rangs, quatre faisceaux ligneux courts, et autant de faisceaux libériens alternes, disposés autour d'une large moelle. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît et cloisonne ses trois assises; mais c'est le rang externe qui grandit le plus et qui produit seul, par deux cloisons tangentielles successives, les trois sortes d'initiales; les autres ne forment que la base de la radicelle. L'endoderme se développe autour du mamelon en une poche digestive simple, plus tard digérée à la base avant la sortie. Sous cette poche simple, la radicelle sortante a formé une calyptre très épaisse, et l'écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, s'est divisée aussi un grand nombre de fois vers la base.

Rhamnées (pl. XIV, fig. 198-199). — La racine terminale de l'*Hovenia dulcis* a, sous l'assise pilifère, neuf assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux non confluents et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend huit cellules, six d'un côté d'un faisceau ligneux, deux seulement de l'autre côté; il accroît radialement ses éléments et les divise tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions avec leurs initiales (fig. 198). La radicelle ainsi formée se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 35 degrés. Ensemble, toutes les radicelles primaires forment donc quatre séries rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. En même temps, l'arc d'endoderme superposé, formé de sept cellules, dilate ses éléments, les cloisonne

radialement et enveloppe le mamelon d'une poche digestive simple; plus tard, cette poche prend une cloison tangentielle autour de l'extrémité et se dédouble (fig. 199); à la sortie, elle est même triple au sommet. A ce moment, l'épiderme de la radicelle a pris trois ou quatre cloisons autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par deux initiales accompagnées de chaque côté par un segment entier, s'est divisée quatre fois vers la base, où commence à s'opérer le raccord des endodermes.

Même formation des radicelles dans une racine binaire de *Rhamnus latifolius;* mais ici la déviation est d'environ 45 degrés et les quatre séries de radicelles sont presque équidistantes. En outre, la poche endodermique y demeure simple même au sommet, jusqu'après la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle a découpé quatre calottes de calyptre et son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée quatre fois vers la base, où son endoderme se raccorde à celui de la racine mère.

IV. — DIALYPÉTALES INFÉROVARIÉES.

Saxifragées (pl. XIV, fig. 200-201). — Une racine latérale de *Saxifraga* (*S. sarmentosa*, *S. Geum*, etc.) a, sous l'assise pilifère, sept ou huit assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a quatre faisceaux ligneux courts, réduits à un ou deux vaisseaux, quatre petits faisceaux libériens alternes, rangés autour d'une large moelle, et un péricycle simple en dehors des faisceaux libériens, double vis-à-vis des faisceaux ligneux (fig. 200). L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît radialement ses deux rangées de cellules, mais c'est l'externe seule qui, par deux cloisons tangentielles, sépare les trois régions de la radicelle avec leurs initiales; l'interne ne produit que la base du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules et ne les divise que par des cloisons radiales, pour former une poche digestive simple, qui demeure telle jusqu'à la sortie, où son anneau

basilaire est digéré. A ce moment, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné trois fois au sommet. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée trois fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

La racine terminale des *Saxifraga* a la structure binaire; le péricycle y est simple tout autour et produit les radicelles en quatre séries de part et d'autre des deux faisceaux ligneux. La poche endodermique y demeure aussi simple jusqu'à la sortie. Cette disposition quadrisériée des radicelles primaires a échappé à M. Clos, qui en admet tantôt deux, tantôt trois, tantôt quatre rangs dans ces plantes (*loc. cit.*, p. 25).

Une racine latérale d'*Hoteia japonica* a un péricycle simple tout autour, trois ou quatre faisceaux ligneux réduits à un ou deux vaisseaux et autant de petits faisceaux libériens alternes, disposés autour d'une large moelle (fig. 201). La radicelle s'y forme comme dans les *Saxifraga* et s'y enveloppe aussi d'une poche endodermique, qui demeure ordinairement simple jusqu'à la fin, où sa base est digérée.

Même structure quaternaire avec péricycle simple dans une racine latérale d'*Astilbe rivularis;* la poche endodermique y demeure simple aussi jusqu'à la sortie, où elle est digérée tout autour à la base.

Philadelphées. — Une radicelle binaire de *Philadelphus laxus* a un péricycle unisérié qui produit les radicelles d'ordre supérieur en quatre séries, de chaque côté des faisceaux ligneux. L'endoderme les enveloppe d'une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la sortie.

Hamamélidées. — Dans une racine à structure binaire d'*Hamamelis virginiana,* les radicelles se forment aussi dans un péricycle unisérié et sont également munies d'une poche endodermique simple jusqu'à la fin. Leur déviation est de 45 degrés et par conséquent les quatre séries où elles se disposent sont équidistantes.

Ribésiées. — La racine terminale des *Ribes* (*R. nigrum,*

opulifolium, *tenuiflorum*, etc.) a, sous l'assise pilifère, sept ou huit assises corticales dont l'interne est l'endoderme. L'avant-dernière assise porte, sur ses faces interne et latérales, des épaississements signalés par l'un de nous (1), qui jouent un rôle analogue au réseau sus-endodermique des Crucifères et des Rosacées. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène a sept cellules, six d'un côté d'un faisceau ligneux, une seule de l'autre côté, ou bien cinq cellules situées toutes du même côté du faisceau ligneux. Ces cellules s'accroissent radialement, puis prennent deux cloisons tangentielles successives, et par là se résolvent dans les trois sortes d'initiales. La radicelle ainsi formée se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 40 degrés. Les radicelles primaires sont donc disposées en quatre séries, un peu rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, ne les divise que par des cloisons radiales, et enveloppe le mamelon d'une poche digestive simple, qui demeure telle dans toute son étendue; à la fin, elle est digérée tout autour à la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, qui commence à se diviser tangentiellement près de la base, a découpé trois calottes de calyptre. Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, ne s'est divisée qu'une ou deux fois vers la base, où son endoderme se raccorde avec celui de la racine mère.

Liquidambarées. — La racine terminale du *Liquidambar orientale* a, dans son cylindre central, un péricycle simple tout autour, deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens alternes, contenant chacun un canal sécréteur oléifère (2). L'arc péricyclique rhizogène comprend six

(1) Ph. Van Tieghem, *Sur le réseau sus-endodermique des Caprifoliacées* (*Bulletin de la Soc. bot.*, XXXIV, p. 253, 1887).

(2) Ph. Van Tieghem, *Second Mémoire sur les canaux sécréteurs des plantes* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, I, p. 80, 1885).

cellules, situées toutes du même côté d'un faisceau ligneux; ces cellules s'accroissent radialement, puis se cloisonnent deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions de la radicelle. Le mamelon ainsi constitué se dirige dans l'écorce avec une déviation de 45 degrés. Toutes ensemble, les radicelles sont donc disposés en quatre séries équidistantes. L'endoderme dilate en même temps ses cellules et fait autour de la radicelle une poche digestive d'abord simple, mais qui plus tard se dédouble autour du sommet.

Lythracées (pl. XIV, fig. 202-204). — La racine terminale des *Cuphea* (*C. viscosissima*, *C. zinnapani*) a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales dont l'interne est un endoderme à grandes cellules. Le cylindre central a quatre faisceaux ligneux non confluents, quatre faisceaux libériens alternes, et un péricyle simple tout autour, parfois double en dehors des faisceaux ligneux (fig. 202). L'arc rhizogène péricyclique, comprenant six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les cloisonne deux fois tangentiellement pour séparer les trois sortes d'initiales. L'arc d'endoderme superposé, comprenant cinq cellules, dilate ses éléments et ne les divise que par quelques cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la fin ; plus tard, ses cellules basilaires sont comprimées par le développement transversal de l'écorce et digérées (fig. 203). A la sortie, l'épiderme de la radicelle ne s'est cloisonné que deux fois au sommet. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée trois ou quatre fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central aussi a deux initiales au sommet.

Une racine latérale de *Lythrum virgatum* a, sous l'assise pilifère et l'assise subéreuse, environ dix assises de cellules corticales disposées en séries radiales et dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, cinq faisceaux ligneux unisériés, réunis au centre par un paquet

de larges vaisseaux, et cinq faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux (fig. 204). Ces cellules s'allongent radialement et se cloisonnent tangentiellement à deux reprises pour séparer les trois régions de la radicelle. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les partage par des cloisons radiales, et forme une poche digestive qui demeure simple jusqu'à la sortie. A ce moment sa base est incorporée à l'épistèle et le reste se détache par glissement en forme de bonnet. L'épiderme ne s'est encore divisé que deux ou trois fois autour du sommet. L'écorce, terminée par deux initiales et un segment entier, s'est divisée quatre fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes. Le cylindre central a aussi deux initiales au sommet.

Œnothéracées (pl. XIV, fig. 205-209). — La racine terminale du *Lopezia coronata* a, sous l'assise pilifère, cinq assises corticales dont la dernière est un endoderme à grandes cellules. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux confluents au centre en étoile, et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux; il accroît radialement ses éléments et les partage par deux cloisons tangentielles successives, de manière à séparer les trois sortes d'initiales (fig. 205). En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les divise que par quelques cloisons radiales, de façon à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la sortie, où ses cellules basilaires sont comprimées et digérées. A ce moment, l'épiderme de la radicelle n'a pris encore qu'une cloison tangentielle, laissant en dehors d'elle une ou deux cellules seulement à la base. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée deux fois vers le bas, où s'établit le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Son cylindre central a aussi deux initiales au sommet.

Même structure quaternaire de la racine terminale, même

cellules, situées toutes du même côté d'un faisceau ligneux; ces cellules s'accroissent radialement, puis se cloisonnent deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions de la radicelle. Le mamelon ainsi constitué se dirige dans l'écorce avec une déviation de 45 degrés. Toutes ensemble, les radicelles sont donc disposés en quatre séries équidistantes. L'endoderme dilate en même temps ses cellules et fait autour de la radicelle une poche digestive d'abord simple, mais qui plus tard se dédouble autour du sommet.

Lythracées (pl. XIV, fig. 202-204). — La racine terminale des *Cuphea* (*C. viscosissima*, *C. zinnapani*) a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales dont l'interne est un endoderme à grandes cellules. Le cylindre central a quatre faisceaux ligneux non confluents, quatre faisceaux libériens alternes, et un péricyle simple tout autour, parfois double en dehors des faisceaux ligneux (fig. 202). L'arc rhizogène péricyclique, comprenant six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les cloisonne deux fois tangentiellement pour séparer les trois sortes d'initiales. L'arc d'endoderme superposé, comprenant cinq cellules, dilate ses éléments et ne les divise que par quelques cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la fin ; plus tard, ses cellules basilaires sont comprimées par le développement transversal de l'écorce et digérées (fig. 203). A la sortie, l'épiderme de la radicelle ne s'est cloisonné que deux fois au sommet. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée trois ou quatre fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central aussi a deux initiales au sommet.

Une racine latérale de *Lythrum virgatum* a, sous l'assise pilifère et l'assise subéreuse, environ dix assises de cellules corticales disposées en séries radiales et dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, cinq faisceaux ligneux unisériés, réunis au centre par un paquet

de larges vaisseaux, et cinq faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux (fig. 204). Ces cellules s'allongent radialement et se cloisonnent tangentiellement à deux reprises pour séparer les trois régions de la radicelle. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les partage par des cloisons radiales, et forme une poche digestive qui demeure simple jusqu'à la sortie. A ce moment sa base est incorporée à l'épistèle et le reste se détache par glissement en forme de bonnet. L'épiderme ne s'est encore divisé que deux ou trois fois autour du sommet. L'écorce, terminée par deux initiales et un segment entier, s'est divisée quatre fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes. Le cylindre central a aussi deux initiales au sommet.

Œnothéracées (pl. XIV, fig. 205-209). — La racine terminale du *Lopezia coronata* a, sous l'assise pilifère, cinq assises corticales dont la dernière est un endoderme à grandes cellules. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux confluents au centre en étoile, et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux; il accroît radialement ses éléments et les partage par deux cloisons tangentielles successives, de manière à séparer les trois sortes d'initiales (fig. 205). En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les divise que par quelques cloisons radiales, de façon à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la sortie, où ses cellules basilaires sont comprimées et digérées. A ce moment, l'épiderme de la radicelle n'a pris encore qu'une cloison tangentielle, laissant en dehors d'elle une ou deux cellules seulement à la base. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée deux fois vers le bas, où s'établit le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Son cylindre central a aussi deux initiales au sommet.

Même structure quaternaire de la racine terminale, même

formation des radicelles dans le péricycle unisérié, en face des faisceaux ligneux et avec poche endodermique simple, dans l'*Œnothera Drummondii* (fig. 207), l'*Epilobium hirsutum*, le *Godetia Wildenowiana*, le *Lavauxia Nuttalliana*. Dans cette dernière plante (fig. 206), la cloison qui dédouble l'épiderme au moment de la sortie descend moins bas que dans les précédentes, de sorte que le manchon où l'épiderme a conservé son intégrité est plus développé. Les choses se passent de même dans une racine latérale d'*Œnothera Fraseri*, où le cylindre central a six faisceaux ligneux unisériés, formés d'un à trois vaisseaux, et six petits faisceaux libériens autour d'une assez large moelle, et où le péricycle est souvent double en dehors des faisceaux ligneux. Il en est de même encore dans une radicelle primaire du pivot de l'*Œnothera Drummondii*, au point de vue de la formation des radicelles secondaires. Il y a toutefois cette différence que, la structure étant binaire, la jeune radicelle naît latéralement par rapport à un faisceau ligneux, faisant une déviation d'environ 40 degrés. Toutes les radicelles secondaires sont donc disposées en quatre séries sur les radicelles primaires.

Une racine latérale de *Circæa* (*C. lutetiana*, *C. mollis*) a, sous l'assise pilifère, six assises corticales, dont la dernière est un endoderme à courts plissements rapprochés de la face interne. Le cylindre central a un péricycle simple, cinq faisceaux ligneux composés d'un ou deux vaisseaux, autant de faisceaux libériens alternes, et une moelle renfermant deux larges vaisseaux vers le centre. L'arc rhizogène comprend six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux; ces cellules s'accroissent et se cloisonnent comme d'ordinaire pour produire les trois régions de la radicelle (fig. 208). L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les divise que radialement, de manière à entourer le mamelon d'une poche digestive simple jusqu'à la sortie, où elle est résorbée à la base. A ce moment, l'épiderme de la radicelle n'a pris encore que deux cloisons tangentielles autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments indivis,

s'est cloisonnée tangentiellement trois fois vers la base, où se fait, à travers l'épistèle, le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

A plusieurs reprises nous avons observé, chez ces plantes, la formation de radicelles doubles à divers degrés de concrescence, superposées à un faisceau libérien.

Une racine latérale de *Trapa natans* a, sous l'assise pilifère, une écorce lacuneuse de dix à douze assises, dont la plus interne est un endoderme à petites cellules. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux réduits chacun à un seul gros vaisseau à paroi épaisse, quatre faisceaux libériens formés chacun de deux ou trois tubes criblés côte à côte, et une large moelle au centre (fig. 209). Pour former une radicelle, quatre cellules péricycliques, situées deux de chaque côté d'un vaisseau, s'accroissent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, isolent les trois régions avec leurs initiales. L'arc d'endoderme superposé, qui comprend cinq cellules, dilate ses éléments et ne les divise que par des cloisons radiales, pour envelopper le mamelon d'une poche digestive simple, qui demeure telle jusqu'à la sortie, où elle est digérée à la base. Un peu avant ce moment, l'épiderme de la radicelle ne se montre encore dédoublé au sommet que par une seule cloison, qui s'est faite de bonne heure, mais qui reste longtemps unique. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée trois fois vers la base, où s'établit le raccord des endodermes. Son cylindre central aussi a deux grandes initiales au sommet.

M. Reinke a donné une description détaillée de la formation des radicelles dans le *Trapa natans* (1). Il y admet que le premier cloisonnement tangentiel des cellules péricycliques sépare l'épiderme en dehors, tandis qu'en réalité il sépare le cylindre central en dedans. Il affirme que les initiales de l'écorce, simples au début, se dédoublent bientôt transversa-

(1) Reinke, *Untersuchungen über Wachsthumsgeschichte und Morphologie der Phanerogamenwurzel* (*Botanische Abhandlungen von Hanstein*, I, 1871, p. 32).

lement et forment deux assises, quand en réalité il n'y a toujours qu'une seule rangée d'initiales corticales. Enfin, il croit que la poche endodermique est de bonne heure résorbée par la radicelle dans toute son étendue, quand en réalité elle n'est dissoute qu'à la base et persiste autour du sommet jusqu'après la sortie, pour être alors exfoliée avant la première calotte de la calyptre.

En résumé, qu'elle soit primaire ou secondaire, issue de la racine terminale ou d'une racine latérale, la radicelle des Œnothéracées se forme toujours de la même manière, tout entière dans le péricycle, avec une poche digestive simple d'origine endodermique, plus tard digérée tout autour de la base.

Haloragées (pl. XIV, fig. 210-212). — La racine terminale de l'*Haloragis tetragona* a, sous l'assise pilifère, cinq assises corticales, dont l'interne est un endoderme à petites cellules. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend six cellules, quatre d'un côté d'un faisceau ligneux, deux de l'autre côté. Ces cellules s'accroissent radialement et se cloisonnent tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions avec leurs initiales. La radicelle ainsi formée progresse dans l'écorce avec une déviation d'environ 30 degrés. Toutes ensemble, les radicelles primaires sont donc disposées en quatre séries, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les divise que par des cloisons radiales, formant ainsi une poche digestive simple jusqu'après la sortie, où elle se détache de sa base, qui demeure incorporée à l'épistèle.

Une racine latérale d'*Hippuris vulgaris* a, sous une écorce lacuneuse d'une dizaine d'assises, un cylindre central pourvu d'un péricycle simple, de trois faisceaux ligneux réduits à un ou deux vaisseaux et de trois faisceaux libériens alternes autour d'une moelle. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu

correspond à un faisceau ligneux, se cloisonne tangentiellement suivant le mode ordinaire pour séparer les trois sortes d'initiales (fig. 210). L'endoderme forme également une poche digestive simple jusqu'à la fin, où elle se détache à la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé deux ou trois calottes de calyptre (fig. 211). Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, s'est divisée trois fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Une racine latérale de *Gunnera* (*G. scabra*, *G. chilensis*) a, dans son cylindre central, un péricycle simple, cinq ou six faisceaux ligneux courts et autant de faisceaux libériens autour d'une large moelle. La radicelle se fait, en face d'un faisceau ligneux, par le double cloisonnement tangentiel d'un arc péricyclique (fig. 212). Elle est enveloppée d'une poche endodermique, qui demeure simple jusqu'à la fin. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné deux ou trois fois sous la poche. L'écorce, terminée par une ou deux initiales, s'est divisée quatre ou cinq fois vers la base (1).

Combrétacées (pl. XIV, fig. 213-214). — Une racine de *Combretum ovalifolium* a, sous l'assise pilifère, sept assises corticales contenant çà et là des mâcles sphériques d'oxalate de chaux, dont l'interne est un endoderme à petites cellules. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux unisériés courts, autour d'une petite moelle, et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux ; il accroît radialement ses éléments, puis les divise par deux cloisons tangentielles successives pour séparer les trois régions (fig. 213). En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, ne les divise que par des cloisons radiales et entoure le mamelon d'une poche digestive simple, plus tard digérée circulairement à la base. A la sortie, l'épi-

(1) D'après M. Eriksson, la racine des *Gunnera* aurait au sommet un groupe d'initiales communes à ses trois régions. On voit que la radicelle a, au contraire, ses trois sortes d'initiales bien distinctes.

derme de la radicelle a découpé sous la poche cinq calottes de calyptre et son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée trois fois vers la base, où s'établit le raccord des endodermes (fig. 214).

Rhizophoracées (pl. XV, fig. 215).— Une racine latérale de *Rhizophora Mangle* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse fortement différenciée, à cellules très allongées radialement. Les cellules de l'assise suivante, aussi très allongées dans le sens du rayon, se cloisonnent activement en direction tangentielle pour former un périderme. L'écorce proprement dite est épaisse, lacuneuse et se termine en dedans par un endoderme à parois radiales plissées dans toute leur largeur; dans la zone moyenne, on voit çà et là une cellule munie, au milieu de chaque face latérale en contact avec les cellules voisines, d'une bande d'épaississement lignifiée; toutes ces bandes confluent en étoile sur les faces supérieure et inférieure (fig. 215). L'ensemble constitue un réseau de soutien qui n'est ni sous-épidermique comme celui des Géraniées et des Sapindées, ni sus-endodermique comme celui des Crucifères et des Rosacées, mais médio-cortical (1). Le cylindre central a dix faisceaux ligneux courts, formés chacun d'une double série de trois ou quatre vaisseaux très étroits, et autant de faisceaux libériens alternes, rangés autour d'une très large moelle qui se sclérifie plus tard à sa périphérie; le péricycle est simple en face des faisceaux libériens, ordinairement double vis-à-vis des faisceaux ligneux.

Pour former une radicelle, un arc péricyclique, large de trois cellules dans l'assise externe et correspondant à un faisceau ligneux, accroît et cloisonne ses deux rangs; mais c'est surtout le rang externe qui grandit et c'est lui seul qui, par deux cloisons tangentielles successives, isole les trois régions de la radicelle avec leurs initiales; le rang interne ne produit que la base du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé,

(1) Ph. Van Tieghem, *Sur le réseau de soutien de l'écorce de la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, VII, p. 374, 1888).

comprenant quatre cellules, dilate ses éléments et ne les divise que par des cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon radicellaire d'une poche digestive simple. Dans cette poche, qui se dilate à mesure, la radicelle s'allonge rapidement à travers l'écorce en demeurant fort étroite. Plus tard, elle s'élargit au-dessous du sommet et résorbe latéralement la poche, dont la partie terminale la recouvre comme d'un bonnet jusqu'à la sortie (fig. 215). A ce moment, l'épiderme de la radicelle, qui se cloisonne fort tard, n'a découpé au sommet que deux calottes de calyptre, et son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, ne s'est divisée que deux ou trois fois un peu plus bas. Ici, la poche digestive est donc incorporée sur les flancs de la radicelle, le long desquels elle se soude avec l'épistèle, digérée circulairement au voisinage de l'extrémité, au niveau de la séparation de l'épiderme et de l'écorce, et enfin soulevée au sommet même en forme de bonnet. Par sa forme longue et grêle et son sommet élargi en forme de gland, cette radicelle ressemble à celle des Nymphéacées.

Mélastomacées (pl. XV, fig. 216-217). — Une racine latérale de *Melastoma cymosa* a, sous l'assise pilifère, formée de grandes cellules, cinq assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, cinq faisceaux ligneux unisériés, réduits chacun à deux ou trois vaisseaux étroits, et cinq petits faisceaux libériens alternes, disposés autour d'une moelle relativement large. L'arc péricyclique rhizogène, comprenant six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les cloisonne tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions (fig. 216). L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise par des cloisons radiales, en enveloppant le mamelon d'une poche endodermique simple, qui demeure telle jusqu'à la sortie ou ne se dédouble qu'au sommet même par une cloison transversale. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné tangentiellement trois ou quatre

fois autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par deux initiales entre deux segments entiers, s'est divisée deux fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Même structure de la racine et même formation des radicelles avec poche endodermique dédoublée au sommet, dans le *Medinilla farinosa* et le *Centradenia grandiflora*. Dans cette dernière plante (fig. 217), l'écorce renferme de nombreuses mâcles sphéroïdales d'oxalate de chaux. La radicelle ne paraît pas digérer ces cristaux; s'ils sont devant elle, elle les repousse en s'accroissant; s'ils sont par côté, elle les contourne et ils sont plus tard nichés dans autant de replis de ses flancs.

Myrtacées (pl. XV, fig. 218-219). — Une racine latérale de *Myrtus communis* a, sous l'assise pilifère, une écorce épaisse comptant quinze à vingt assises, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a cinq faisceaux ligneux et libériens autour d'une large moelle, et un péricycle double en face des faisceaux ligneux, simple vis-à-vis des faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît et cloisonne ses deux rangées de cellules; mais c'est le rang externe qui s'accroît le plus et c'est lui seul aussi qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare les trois régions; le rang interne ne produit que la partie inférieure du cylindre central (fig. 219). L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise non seulement en direction radiale, mais aussi dans toute son étendue par une cloison tangentielle, de manière à envelopper la radicelle d'une poche digestive qui est double dès la base. Autour du sommet, la poche se cloisonne de nouveau une ou deux fois, de façon à y devenir triple ou quadruple avant la sortie (fig. 219). A ce moment, l'épiderme de la radicelle a pris au sommet huit à dix cloisons tangentielles. L'écorce, terminée par une seule grande initiale, se divise très rapidement six à huit fois latéralement et vers le bas, ce qui rend son extrémité faiblement convexe ou même un peu concave vers le haut. Tout en bas s'opère le raccord des endodermes par l'intermé-

diaire des cellules triplissées. Le cylindre central a au sommet deux initiales, dont l'origine est la même que l'initiale de l'écorce. En somme, cette radicelle ressemble, notamment par sa poche épaisse, à une radicelle de *Cicer* ou de *Pisum*.

La racine latérale de l'*Eucalyptus globulus* a, sous son assise pilifère, une assise subéreuse fortement différenciée et munie de plissements; l'épaisse écorce lacuneuse est terminée en dedans par un endoderme à petites cellules fortement subérifiées. Le cylindre central a quatre ou cinq faisceaux ligneux séparés au centre par une large moelle, qui se sclérifie plus tard, autant de faisceaux libériens alternes, un péricycle triple en face des faisceaux ligneux, double en dehors des faisceaux libériens. La radicelle se forme en face d'un faisceau ligneux en découpant ses trois régions avec leurs initiales dans l'assise péricyclique externe (fig. 218); elle est enveloppée aussi d'une poche endodermique, mais qui est simple d'abord et ne se dédouble que plus tard autour de l'extrémité.

Enfin la poche digestive demeure simple dans toute son étendue et se trouve de bonne heure digérée autour de la base par l'épaississement de l'écorce, dans la radicelle du *Melaleuca ericifolia*. Ici le péricycle est simple tout autour du cylindre central, lequel contient cinq faisceaux de deux sortes autour d'une large moelle. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné huit à dix fois pour former une épaisse calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée aussi huit à dix fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes (1).

Loasées (pl. XV, fig. 220). — La racine terminale du *Mentzelia Wrightii* a, sous l'assise pilifère, quatre ou cinq assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux con-

(1) D'après MM. Eriksson et Flahault, la racine des Myrtacées a un groupe d'initiales communes pour l'écorce et l'épiderme (*loc. cit.*, p. 140). On voit, au contraire, que la radicelle de ces plantes a ses trois sortes d'initiales distinctes; elles y sont seulement peu différenciées quelquefois.

fluents en croix et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, comprenant quatre cellules, deux de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement et cloisonne tangentiellement deux fois ses éléments, pour dégager les trois sortes d'initiales. En même temps l'arc d'endoderme correspondant dilate ses cellules et ne les divise que par quelques cloisons radiales, de manière à former autour du mamelon une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle n'a pris qu'une cloison tangentielle autour de l'extrémité (fig. 220). Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, s'est divisée une ou deux fois vers la base, où commence le raccord des endodermes.

Même structure quaternaire de la racine terminale chez le *Loasa vulcanica*, et même formation des radicelles dans le péricycle avec poche endodermique simple.

Ombellifères (pl. XV, fig. 221-222). — La racine terminale des Ombellifères a la structure binaire et dispose en conséquence, conformément à la règle générale, ses radicelles primaires en quatre séries. Mais ici, à cause d'un phénomène particulier dont le péricycle est le siège en face des faisceaux ligneux, la radicelle ne peut pas s'approcher du faisceau ligneux jusqu'au contact, encore moins le déborder; sa déviation est donc toujours voisine de 45 degrés ou même plus grande que 45 degrés, et les quatre séries de radicelles sont équidistantes ou même rapprochées deux par deux du côté des faisceaux libériens. S'il se fait des radicelles doubles, c'est en face des faisceaux libériens qu'elles sont placées (1).

La racine terminale du *Pastinaca sativa*, par exemple, a, sous l'assise pilifère, six assises corticales, dont la dernière est un endoderme à grandes cellules plissées. Le cylindre

(1) Voy. sur ce sujet : Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XIII, p. 223, 1871). — *Mémoire sur les canaux sécréteurs des plantes* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XVI, p. 47, 1872). — *Recherches sur la disposition des radicelles et des bourgeons dans les racines des Phanérogames* (*Ibid.*, 7e série, V, p. 130, 1887).

central a deux faisceaux ligneux unisériés, confluents au centre, dont le vaisseau externe s'appuie, comme partout ailleurs, contre une cloison péricyclique, et deux faisceaux libériens renfermant chacun, au milieu de leur bord externe, un étroit canal oléifère, séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux assises conjonctives. Le péricycle, simple en dehors des faisceaux libériens, cloisonne, comme on sait, huit de ses cellules vis-à-vis de chaque faisceau ligneux et s'y creuse de sept canaux oléifères très étroits, un médian quadrangulaire et trois de chaque côté triangulaires (fig. 221). C'est dans les quatre cellules péricycliques ordinaires qui séparent le bord de l'arc oléifère supraligneux ainsi constitué du milieu du faisceau libérien, que la radicelle prend naissance. Ces cellules s'accroissent radialement et bientôt séparent, par une première cloison tangentielle, le cylindre central en dedans, puis, par une seconde cloison tangentielle extérieure à la première, l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle. Le mamelon ainsi constitué se dirige dans l'écorce avec une déviation plus grande que 45 degrés (pl. I, fig. 5). Quand deux radicelles se forment au même niveau du même côté de la lame vasculaire, elles se touchent à la base au milieu du faisceau libérien, puis divergent dans l'écorce en faisant l'une avec l'autre un angle plus petit que 90 degrés (fig. 221). Toutes ensemble, les radicelles primaires sont donc disposées en quatre séries, sensiblement rapprochées deux par deux du côté des faisceaux libériens. L'arc d'endoderme superposé au mamelon radicellaire dilate ses cellules, et ne les divise que par des cloisons radiales; la poche digestive est donc simple et demeure ordinairement telle jusqu'à la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle a pris au sommet deux cloisons tangentielles. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée trois fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes (1).

(1) D'après MM. Eriksson et Flahault, la racine des Ombellifères aurait au sommet un groupe d'initiales communes pour l'écorce et le cylindre central (*loc. cit.*, p. 131). On voit que la radicelle a les initiales de ses trois régions parfaitement distinctes.

Même structure binaire de la racine terminale et même formation des radicelles avec poche endodermique simple dans les *Carum Carvi*, *Conium divaricatum*, *Bupleurum falcatum*, etc. Il arrive assez souvent, notamment dans les plantes que nous venons de citer, que l'arc péricyclique rhizogène, comprenant plus de quatre cellules, dépasse notablement le milieu du faisceau libérien ; la déviation de la radicelle est alors beaucoup plus grande que 45 degrés, et les séries de radicelles sont beaucoup plus rapprochées deux par deux du côté des faisceaux libériens. S'il vient alors à se former deux radicelles au même niveau du même côté de la lame vasculaire, elles s'unissent en une radicelle double, plus grosse que les radicelles ordinaires, et située exactement en face d'un faisceau libérien (pl. I, fig. 6).

Une racine latérale d'*Œnanthe pimpinelloides* a, sous l'assise pilifère, une écorce lacuneuse formée de seize assises, dont la dernière est un endoderme à petites cellules. Le cylindre central a trois faisceaux ligneux unisériés confluents au centre, trois faisceaux libériens alternes, et un péricycle creusé de cinq canaux oléifères vis-à-vis de chaque faisceau ligneux, simple dans les intervalles (fig. 222). Consacré à la formation de l'huile essentielle vis-à-vis de chaque faisceau ligneux, le péricycle ne peut pas produire les radicelles en ces points, comme c'est la règle toutes les fois que le nombre des faisceaux ligneux est supérieur à deux. Ce sont les cellules péricycliques situées entre le bord de l'arc oléifère et le milieu du faisceau libérien correspondant, ordinairement au nombre de cinq, qui produisent la radicelle. Elles s'accroissent radialement, puis se cloisonnent deux fois tangentiellement pour dégager les trois régions. Le mamelon ainsi constitué se dirige ensuite dans l'écorce avec une déviation plus grande que 30 degrés. Il en résulte que toutes les radicelles sont insérées en six rangées sensiblement rapprochées deux par deux du côté des trois faisceaux libériens.

De même, dans une racine latérale à six faisceaux ligneux de *Sanicula europæa*, les radicelles se forment dans le péri-

cycle en douze séries, rapprochées deux par deux du côté des six faisceaux libériens. La disposition diplostique, qui est la règle quand la structure est binaire, s'introduit donc ici quand le nombre des faisceaux est supérieur à deux, faisant ainsi exception à la règle propre à ce cas, qui est la disposition isostique. En d'autres termes, la disposition diplostique est constante chez les Ombellifères, quel que soit le nombre des faisceaux.

Autour de ces radicelles d'*Œnanthe* et de *Sanicula*, l'endoderme dilate également ses cellules et ne les cloisonne que radialement, de façon à constituer une poche digestive simple jusqu'à la sortie. A ce moment, sa partie supérieure, en forme de bonnet, se détache par glissement de sa partie inférieure, en forme de manchon, qui demeure incorporée à la radicelle. A ce moment aussi, l'épiderme de la radicelle a découpé sous la poche deux ou trois calottes du calyptre. Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, s'est divisée quatre fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes. Pendant que la radicelle s'accroît dans l'épaisse écorce de la racine mère, les séries radiales de cellules qui séparent les lacunes ne sont pas infléchies par elle : preuve certaine que l'action digestive qu'elle exerce sur l'écorce n'est accompagnée d'aucune pression, même très légère.

Araliées (pl. XV, fig. 223). — La racine terminale de l'*Hedera Helix* a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a six faisceaux ligneux unisériés et autant de faisceaux libériens alternes, disposés autour d'une assez large moelle. Le péricycle, simple en face des faisceaux libériens, est creusé en face de chaque faisceau ligneux de trois canaux oléifères, le médian quadrangulaire, les deux autres triangulaires. C'est dans les cellules péricycliques situées entre le bord de l'arc oléifère supraligneux et le milieu du faisceau libérien correspondant, que la radicelle prend naissance. Ces cellules s'accroissent radialement et se cloisonnent deux fois tangentiellement pour

isoler les trois régions et l'épistèle. En même temps, l'endoderme dilate ses cellules, au nombre de six, et ne les divise que par quelques cloisons radiales, de manière à entourer le mamelon d'une poche digestive simple jusqu'à la sortie, où sa base est incorporée. A ce moment, l'épiderme de la radicelle a pris deux cloisons tangentielles au sommet (fig. 223). Son écorce, terminée par une initiale avec deux segments entiers, s'est divisée trois ou quatre fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes (1).

La radicelle traverse l'écorce avec une déviation supérieure à 15 degrés. Il en résulte que toutes ensemble les radicelles sont disposées sur le pivot en douze séries, rapprochées deux par deux du côté des six faisceaux libériens. Çà et là, on voit aussi se former des radicelles doubles, situées exactement en face des faisceaux libériens (2).

Une racine latérale d'*Hedera Helix* a la même structure, avec cinq ou quatre faisceaux ligneux et libériens disposés autour d'une moelle qui se sclérifie plus tard dans toute son épaisseur. Les radicelles s'y forment de la même manière dans le péricycle avec poche endodermique simple et s'y disposent en dix ou huit rangées rapprochées deux par deux du côté des faisceaux libériens (fig. 223). On y observe aussi des radicelles doubles, plus grosses que les autres, en face des faisceaux libériens. Une fois même, on a vu deux de ces grosses radicelles doubles nées au même niveau se fusionner en une très grosse radicelle quadruple dont l'axe répondait à un faisceau ligneux.

Une racine latérale de *Paratropia umbraculifera* a la même structure quinaire, forme ses radicelles dans le péricycle en alternance avec les faisceaux ligneux et libériens, mais avec chevauchement fréquent sur les faisceaux libériens, et les enveloppe d'une poche endodermique simple. Les radicelles y sont donc disposées en dix séries rapprochées deux par deux

(1) D'après MM. Eriksson et Flahault, la racine des Araliées aurait au sommet des initiales communes à l'écorce et à l'épiderme (*loc. cit.*, p. 130). On voit que la radicelle a ses trois sortes d'initiales bien distinctes.

(2) Voy. à ce sujet : Ph. Van Tieghem, *loc. cit.*, 1871, p. 231, et 1872, p. 57.

du côté des faisceaux libériens, et il se fait en outre çà et là des radicelles doubles exactement en face des faisceaux libériens.

Une racine latérale d'*Aralia crassifolia* a, sous l'endoderme, un péricycle triple tout autour, creusé d'un arc de méats oléifères vis-à-vis de chaque faisceau ligneux; il y a sept faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens autour d'une large moelle. L'arc rhizogène est situé entre un faisceau ligneux et un libérien, mais chevauche notablement sur ce dernier. Il en résulte que les radicelles sont disposées toutes ensemble sur quatorze rangées, fort rapprochées deux par deux du côté des faisceaux libériens, et que la formation de radicelles doubles, exactement superposées à un faisceau libérien, est très fréquente. L'arc rhizogène accroît et cloisonne ses trois rangs de cellules; mais c'est l'assise externe qui s'allonge le plus et qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central; les deux autres ne produisent que la région inférieure, au début la plus volumineuse, du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé se développe autour du mamelon et forme une poche simple, dédoublée seulement au sommet même et incorporée à la base au moment de la sortie.

Enfin une racine latérale de *Fatsia papyrifera* a la structure binaire avec un péricycle simple entaillé d'un arc de cinq canaux oléifères vis-à-vis de chaque faisceau ligneux. L'arc rhizogène comprend huit cellules à partir du dernier méat oléifère; son milieu est donc plus rapproché du milieu du faisceau libérien que du faisceau ligneux; aussi la radicelle a-t-elle une déviation plus grande que 45 degrés, et les quatre rangées de radicelles sont-elles rapprochées deux par deux du côté des faisceaux libériens. L'endoderme entoure le mamelon d'une poche simple, quelquefois dédoublée au sommet, incorporée dans son manchon inférieur et détachée plus haut par glissement au moment de la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle a pris au sommet trois cloisons tangentielles; son écorce, terminée par deux initiales ou par une initiale avec

un segment entier, s'est divisée tangentiellement trois fois à la base, où se fait le raccord des endodermes.

La disposition des radicelles est donc toujours diplostique chez les Araliées. Ces plantes font même à la règle une exception plus forte que les Ombellifères, puisqu'elles la présentent déjà dans leur racine terminale.

Pittosporées (pl. XV, fig. 224). — Une racine latérale de *Pittosporum undulatum* a, sous l'assise pilifère, six assises corticales, dont la dernière est un endoderme à larges plissements fortement subérifiés. Le cylindre central a trois faisceaux ligneux unisériés, qui confluent plus tard au centre, et trois faisceaux libériens alternes. En face de chaque faisceau ligneux, le péricycle est dédoublé et creusé de trois canaux oléifères, un médian quadrangulaire et deux latéraux triangulaires; en face du milieu de chaque faisceau libérien, il est également cloisonné et creusé d'un canal oléifère, mais ce canal est situé contre le liber et laisse, entre lui et l'endoderme, une assise de cellules ordinaires (fig. 224). Dans les intervalles enfin, le péricycle est simple (1). C'est dans ces cellules péricycliques simples, situées de part et d'autre des arcs oléifères supraligneux, cellules qui se continuent par les cellules ordinaires situées en dehors du canal supralibérien, que se forme la radicelle. Grâce à ces dernières, l'arc rhizogène peut atteindre et souvent même dépasser le milieu du faisceau libérien. Il accroît radialement et cloisonne deux fois tangentiellement ses cellules, pour séparer comme d'ordinaire les trois régions avec leurs initiales. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les divise que par quelques cloisons radiales, de manière à entourer le mamelon d'une poche digestive simple, plus tard incorporée à la base et détachée par glissement. A la sortie (fig. 224), l'épiderme de la radicelle a découpé trois calottes de calyptre, dont la première se détache très bas et se dédouble au sommet; son écorce, terminée par une initiale avec un ou deux segments

(1) Voy. à ce sujet : Ph. Van Tieghem, *loc. cit.*, 1872, p. 68 et 1885, p. 30.

entiers, s'est divisée cinq fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes.

En traversant l'écorce, la radicelle fait une déviation plus grande que 30 degrés. Toutes ensemble, les radicelles sont donc disposées sur cette racine mère en six rangées, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux libériens. Dans une racine latérale de *Pittosporum viridifolium*, plus grosse que la précédente, munie d'une écorce plus épaisse et d'un cylindre central plus large à cinq faisceaux ligneux autour d'une moelle, les radicelles se forment de même dans les intervalles des faisceux ligneux et libériens, avec chevauchement sur les derniers. Elles se disposent par conséquent en dix rangées, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux libériens. Quand deux radicelles naissent alors au même niveau dans deux rangées voisines, elles s'unissent en une radicelle double, située exactement en face du faisceau libérien.

En résumé, la structure de la racine des Pittosporées étant la même que celle des Ombellifères et des Araliées, les radicelles s'y forment et s'y disposent aussi de la même manière. Ensemble, ces trois familles font à la règle de position des radicelles une seule et même exception. La disposition des radicelles y est diplostique, quel que soit le nombre des faisceaux.

Cornées (pl. XV, fig. 225). — Une racine latérale de *Griselinia littoralis* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse fortement différenciée et une vingtaine d'assises corticales contenant çà et là des mâcles sphéroïdales d'oxalate de chaux; la dernière est un endoderme à petites cellules. Le cylindre central a huit faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens alternes, rangés autour d'une très large moelle et entourés d'un péricycle triple, quelquefois double, en face des faisceaux ligneux, double, quelquefois simple, en dehors des faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux et qui a environ dix cellules de largeur, accroît ses deux ou trois assises; mais c'est le rang externe seul qui, par deux cloisons tangentielles successives,

sépare les trois régions; le rang interne, ou les deux internes s'il y en a trois, ne produisent que la partie inférieure du cylindre central (fig. 225). En même temps, l'arc d'endoderme superposé, formé d'environ dix cellules, dilate ses éléments et forme autour du mamelon radicellaire une poche digestive d'abord simple, mais qui ne tarde pas à prendre une cloison tangentielle dans sa région terminale, où elle devient double. Plus tard sa base simple est digérée tout autour. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, formé de grandes cellules, a pris vers le sommet huit à dix cloisons tangentielles et forme ainsi, sous la poche double, une épaisse calyptre. Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, s'est divisée huit à dix fois vers la base, et son assise externe est composée de grandes cellules analogues à celles de l'épiderme. Tout en bas s'opère le raccord des endodermes.

Par la formation et la disposition des radicelles, comme par tous leurs autres caractères, les Cornées diffèrent donc beaucoup des trois familles précédentes.

V. — GAMOPÉTALES SUPÉROVARIÉES.

Éricacées (pl. XV, fig. 226-230). — Les jeunes racines des *Erica* (*E. cinerea*, *E. carnea*), *Calluna* (*C. vulgaris*), *Rhododendron* (*R. Maydenii*) sont remarquables par leur ténuité et par la simplicité de leur structure (fig. 227). L'assise pilifère est formée de grandes cellules claires, qui ne se prolongent pas en poils; ces cellules, au nombre de huit sur la section transversale, égalent en épaisseur le diamètre du massif qu'elles recouvrent et qui se compose de l'écorce et du cylindre central. L'écorce se réduit à une seule assise de cellules, marquée de plissements sur les faces radiales et transverses, c'est-à-dire à l'endoderme. Le cylindre central se compose d'un péricycle simple, de deux ou trois faisceaux ligneux parfois confluents au centre, réduits chacun à un vaisseau spiralé très étroit, et de deux ou trois faisceaux libériens, réduits chacun à un seul tube criblé très étroit parfois

en contact avec les vaisseaux. Au sommet, l'assise pilifère se termine par trois cellules en coupe longitudinale, qui se cloisonnent tangentiellement et découpent une calotte de calyptre formée de trois cellules, une grande au milieu, deux plus petites sur les bords (fig. 228). Il est rare qu'il y ait deux de ces calottes à la fois (fig. 229); d'ordinaire l'avant-dernière se détache quand la dernière se forme. L'écorce, c'est-à-dire l'endoderme, se continue directement au sommet par son initiale. Le cylindre central se termine par une seule initiale (1). Vers la base, à mesure que la racine vieillit et que des tissus secondaires à éléments très étroits se forment dans le cylindre central, l'assise pilifère se détache cellule par cellule, laissant l'endoderme adhérent; plus tard encore, celui-ci se détache à son tour.

Dans une racine d'une structure binaire aussi simple, mais pourtant parfaitement normale et complète dans toutes ses parties, il est intéressant de voir comment se forment les radicelles. Deux cellules péricycliques, situées du même côté par rapport à l'un des vaisseaux, grandissent radialement, et, par deux cloisons tangentielles successives, isolent les trois régions (fig. 226). Les trois cellules endodermiques superposées se dilatent autour du mamelon et l'enveloppent d'une poche simple qui n'a à attaquer et à digérer que l'assise pilifère pour produire la radicelle au dehors. Malgré la simplicité de structure de la racine mère, la radicelle se fait donc comme dans les cas ordinaires. A la sortie, son épiderme et son écorce sont encore deux assises indivises (fig. 226); c'est seulement plus tard, quand la poche va s'exfolier, que l'épiderme prend, dans sa cellule terminale, une cloison transverse pour séparer la première calotte de calyptre. Les deux initiales de l'écorce ne se divisent que par des cloisons radiales, et son unique assise passe plus bas à l'état d'endoderme.

D'autres Éricacées ont les racines moins grêles et douées de

(1) Une structure presque aussi simple a été constatée par M. Flahault (*loc. cit.*, p. 102) dans la racine terminale embryonnaire de ces plantes.

la structure ordinaire. Une racine d'*Arbutus Andrachne*, par exemple, a sous l'assise pilifère six assises corticales dont l'avant-dernière a ses membranes épaissies et lignifiées sur la face externe, et dont la dernière est un endoderme à plissements. Le cylindre central a un péricycle simple, trois faisceaux ligneux séparés au centre par une moelle, et trois faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu répond à un faisceau ligneux, agrandit ses cellules radialement et les cloisonne tangentiellement deux fois, pour isoler les trois régions avec leurs initiales. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules autour de la radicelle, qu'elle enveloppe d'une poche digestive simple, bientôt digérée à la base et persistant en forme de bonnet autour de l'extrémité jusqu'à la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle a découpé au sommet trois calottes de calyptre, et son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée deux fois seulement vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

La racine du *Vaccinium erythrinum*, sous son écorce épaisse de dix assises dont la dernière est l'endoderme, a, dans son cylindre central, un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux non confluents et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, situé en face d'un faisceau ligneux, se comporte comme d'ordinaire, et le mamelon radicellaire est enveloppé par une poche endodermique simple; plus tard cette poche se dédouble autour de l'extrémité et se résorbe à la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé quatre ou cinq calottes de calyptre; son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée cinq fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes.

Une racine de *Clethra arborea* a, sous l'assise pilifère, dix assises corticales, dont l'interne est l'endoderme. L'avant-dernière assise porte, sur chacune de ses faces latérales et antéro-postérieures, plusieurs bandes d'épaississement étendues parallèlement dans le sens de la longueur et qui confluent en étoile sur les faces transverses (fig. 230). Les cellules de l'antépénultième assise et même celles des assises encore

plus externes présentent aussi çà et là le même phénomène. Toutes ensemble, ces cellules à bandes constituent un appareil de soutien sus-endodermique tout à fait comparable au réseau sus-endodermique des Crucifères et des Rosacées (1). Il en diffère seulement parce que les bandes d'épaississement sont multiples et se développent tout aussi bien sur les faces externe et interne des cellules que sur leurs faces radiales. On sait que les *Clethra* s'éloignent des autres Éricacées par plusieurs caractères, notamment par leur pollen à grains simples; ils en diffèrent aussi, comme on voit, par la structure de leurs racines. Le cylindre central a un péricycle simple, trois faisceaux ligneux non confluents et trois faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène produit, comme d'ordinaire, la radicelle en face d'un faisceau ligneux, et l'endoderme l'enveloppe aussi d'une poche digestive simple, qui attaque et dissout d'abord l'assise sus-endodermique avec ses épaississements, puis tout le reste de l'écorce (fig. 230).

Pyrolées. — Une racine latérale de *Pyrola rotundifolia* a, sous une assise pilifère à très grandes cellules, cinq assises corticales, dont la dernière est un endoderme à petits plissements. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux formés d'un ou deux vaisseaux, deux faisceaux libériens alternes et une petite moelle. L'arc rhizogène, comprenant cinq à sept cellules situées toutes du même côté d'un faisceau ligneux, accroît et cloisonne ses éléments suivant la règle ordinaire, pour séparer les trois régions de la radicelle, dont la déviation est d'environ 40 degrés. L'arc d'endoderme superposé se développe autour du mamelon et forme une poche digestive simple, qui demeure telle jusqu'à la sortie.

Épacridées (pl. XVI, fig. 231). — Les racines des *Epacris* ont la minceur et la simplicité de structure de celles des *Erica*. Seulement l'écorce a ici deux assises de cellules superposées, dont l'interne prend les plissements caractéristiques et con-

(1) Ph. Van Tieghem, *Sur le réseau sus-endodermique des Légumineuses et des Éricacées* (*Bull. de la Soc. bot.*, 11 mai 1888).

stitue l'endoderme (fig. 231). Au sommet, elle est simple et forme autour de l'extrémité du cylindre central une calotte de sept cellules en coupe longitudinale; la médiane seule est une initiale, les autres sont des segments encore entiers; plus bas, les segments se divisent par une cloison tangentielle. L'épiderme découpe aussi à l'extrémité une calotte de trois cellules pour la calyptre. La radicelle naît, comme dans les *Erica*, dans le péricycle avec une poche endodermique simple, qui dissout ici d'abord l'assise corticale externe, puis les grandes cellules de l'assise pilifère.

Primulacées (pl. XVI, fig. 232-233). — La racine terminale de l'*Auricula ursi* (*Primula Auricula* L.) a, sous l'assise pilifère, six assises corticales, dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre, et deux faisceaux libériens séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux rangs de cellules conjonctives.

Pour former une radicelle, un arc de péricycle comprenant cinq cellules, quatre d'un côté d'un faisceau ligneux, une seulement de l'autre côté, accroît radialement ses éléments et les cloisonne tangentiellement à deux reprises pour isoler les trois régions avec leurs initiales. La radicelle ainsi constituée se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 35 degrés. Toutes les radicelles sont donc disposées sur le pivot en quatre séries, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les divise que par des cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple. Plus tard, cette poche est digérée à la base et sur les flancs par l'épaississement de l'écorce de la radicelle et ne subsiste qu'au sommet sous forme d'un petit bonnet.

A la sortie, l'épiderme de la radicelle, formé de grandes cellules prismatiques, n'a découpé qu'au sommet même deux calottes de calyptre; sur les flancs, où il demeure entier, ses cellules s'allongent au dehors en forme de papilles serrées et

se soudent intimement à l'écorce de la racine mère, qu'elles attaquent et digèrent pendant un certain temps. L'écorce de la radicelle, terminée par deux initiales, s'est divisée deux fois vers la base, où commence à s'établir le raccord des endodermes. Le cylindre central a également deux initiales au sommet.

Les racines latérales de cette plante ont la même structure, mais avec une écorce plus épaisse et un cylindre central à trois, quatre et jusqu'à six faisceaux ligneux autour d'une moelle (fig. 233). Les radicelles s'y forment de la même manière, mais en face des faisceaux ligneux. Le développement en papilles des cellules épidermiques sur les flancs de la radicelle, leur soudure intime avec l'écorce traversée, et la digestion directe qui s'opère à ce contact, sont des phénomènes beaucoup plus marqués ici que dans la racine terminale. On voit aussi que l'assise corticale externe est d'ordinaire trop fortement subérifiée pour pouvoir être digérée; elle est comprimée et déchirée, avec l'assise pilifère qui la recouvre.

Une racine latérale de *Primula officinalis* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse plissée et quinze assises corticales dont la dernière est un endoderme à petites cellules munies de courts plissements. Le cylindre central a cinq faisceaux ligneux courts et autant de faisceaux libériens autour d'une large moelle; le péricycle y est simple tout autour, çà et là double en face des faisceaux ligneux. L'arc rhizogène péricyclique, qui compte six cellules et dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, allonge radialement ses éléments et les cloisonne tangentiellement à deux reprises pour séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. Quand l'arc péricyclique est double, c'est le rang externe qui se comporte comme il vient d'être dit; l'interne s'accroît aussi et se cloisonne, mais ne produit que la base du cylindre central. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les cloisonne radialement et forme une poche digestive simple; celle-ci ne tarde pas à être digérée sur les flancs et entraînée au sommet de la radicelle sous forme d'un petit bonnet, qui

persiste jusqu'à la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle, qui est resté longtemps simple et dont les cellules se sont prolongées en papilles dans la région inférieure et se sont soudées avec l'écorce de la racine mère après en avoir digéré une partie, vient seulement de se diviser au sommet par une cloison tangentielle. Son écorce, terminée par deux grandes initiales, s'est divisée quatre ou cinq fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Même structure de la racine, terminale ou latérale, et même formation des radicelles avec une poche endodermique simple, bientôt digérée latéralement et soulevée en forme de bonnet dans les *Anagallis* (*A. arvensis*, *A. platyphylla*) et dans les *Lysimachia* (*L. Nummularia*, *L. thyrsiflora*, *L. verticillata*), etc.

Une racine latérale de *Lysimachia verticillata*, par exemple, a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse à larges plissements échelonnés, accusés par de fortes marques noires sur les faces latérales et transverses; l'écorce compte quinze à vingt assises, dont la plus interne est un endoderme à petites cellules munies de plissements assez larges; çà et là une cellule corticale renferme une masse résineuse brune qui la remplit presque complètement. Le cylindre central a un péricycle simple, huit à dix faisceaux ligneux unisériées courts, et autant de faisceaux libériens autour d'une large moelle. L'arc péricyclique rhizogène comprend ordinairement quatre cellules, deux de chaque côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'allongent radialement, et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions de la radicelle. L'endoderme dilate en même temps ses cellules et les cloisonne radialement pour envelopper le mamelon d'une poche digestive simple, d'abord continue; plus tard, cette poche est digérée un peu au-dessus de sa base, qui est incorporée; le reste est soulevé en forme d'un petit bonnet autour du sommet de la radicelle (fig. 232). A la sortie, l'épiderme de celle-ci, simple sur les flancs, a pris au sommet même deux cloisons tangentielles; son écorce, terminée par deux initiales très

étroites, s'est divisée tangentiellement vers la base, où se fait, à travers l'épistèle, le raccord des deux endodermes par les cellules triplissées (1).

En résumé, la digestion de l'écorce de la racine mère s'opère, chez les Primulacées, d'abord tout autour par la poche endodermique, plus tard au sommet seulement par le bonnet terminal, auquel cette poche se réduit, et sur les flancs directement par la radicelle, dont l'épiderme est mis à nu par la résorption latérale de la poche et prolonge ses cellules en papilles. C'est un cas intermédiaire entre les plantes qui sont dépourvues de poche et celles qui ont une poche à base incorporée. Nous avons déjà rencontré de pareils intermédiaires, notamment dans les *Rhizophora* (p. 212).

Myrsinées (pl. XVI, fig. 234-235). — Une racine latérale d'*Ardisia* (*A. crispa*, *A. guateloupensis*) a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse bien différenciée et six à huit assises corticales, dont la plus interne est un endoderme à plissements. Le cylindre central a cinq faisceaux ligneux formés d'un ou deux vaisseaux étroits et cinq petits faisceaux libériens alternes, disposés autour d'une large moelle; le péricycle est simple tout autour, quelquefois double en face des faisceaux ligneux. L'arc péricyclique rhizogène accroît radialement et cloisonne tangentiellement ses cellules à deux reprises, suivant la règle ordinaire, pour séparer les trois régions de la radicelle (fig. 234). L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et

(1) MM. Nägeli et Leitgeb ont étudié et figuré la formation des radicelles dans le *Lysimachia thyrsiflora* (*loc. cit.*, p. 144, 1868). Ils ont bien vu que l'assise corticale interne (endoderme) suit la croissance de la radicelle née dans le péricambium (péricycle); mais ils ont admis que l'enveloppe ainsi formée constitue toute la coiffe de la radicelle, coiffe à la production de laquelle le péricycle ne contribuerait pas. En d'autres termes, dans cette plante, la radicelle ne procéderait du péricycle de la racine mère que pour son cylindre central et son écorce; sa coiffe proviendrait de l'endoderme de la racine mère. On voit par ce qui précède qu'il n'en est rien. La radicelle procède tout entière du péricycle, son épiderme, plus tard calyptrogène, tout aussi bien que son écorce et son cylindre central. L'endoderme de la racine mère se borne à la revêtir d'une poche digestive simple.

enveloppe le mamelon d'une poche simple. Plus tard, cette poche est digérée à la base et sur les flancs, par suite de la dilatation de l'écorce, et se réduit à un petit bonnet qui entoure le sommet de la radicelle.

A la sortie, l'épiderme de la radicelle, simple sur les flancs, où il se compose de cellules plus courtes que larges, n'a pris au sommet même qu'une ou deux cloisons tangentielles, découpant une ou deux petites calottes de calyptre. Son écorce, terminée par une initiale accompagnée parfois d'un segment entier, s'est divisée quatre fois sur les flancs et à la base, où elle se raccorde avec l'endoderme de la racine mère par les cellules triplissées.

Une racine de *Theophrasta* (*Th. fusca*, *Th. brachystachys*) a, dans son cylindre central, un péricycle simple, deux faisceaux ligneux formés de vaisseaux étroits à parois épaisses, non confluents au centre, et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux, accroît et cloisonne ses cellules suivant la règle ordinaire (fig. 235). La radicelle ainsi formée se dirige dans l'écorce sous une déviation d'environ 40 degrés. Toutes les radicelles sont donc disposées sur la racine en quatre séries presque équidistantes. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et forme une poche endodermique simple, d'abord continue, plus tard digérée sur les côtés et ne persistant qu'au sommet en forme de bonnet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, simple sur les côtés où il est formé de cellules larges et courtes, n'a pris au sommet même qu'une seule cloison tangentielle séparant une petite calotte de calyptre; à la base et sur les flancs, ses cellules s'allongent transversalement et pénètrent dans l'écorce, qu'elles digèrent d'abord et avec laquelle elles se soudent ensuite intimement. L'écorce, terminée par une initiale, s'est divisée trois ou quatre fois sur les côtés, et son endoderme se raccorde à la base avec celui de la racine mère par les cellules triplissées.

Une racine de *Myrsine potama* a, sous l'assise pilifère,

douze à quinze assises corticales, dont la dernière est un endoderme plissé. Le cylindre central a huit à dix faisceaux ligneux très courts et autant de petits faisceaux libériens alternes, disposés autour d'une large moelle. Le péricycle, simple en dehors des faisceaux libériens, est double ou triple en face des faisceaux ligneux. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît et cloisonne toutes ses cellules, mais c'est le rang externe seul qui, par deux cloisonnements tangentiels successifs, sépare les trois régions de la radicelle avec leurs initiales; les autres ne produisent que la base du cylindre central. L'arc d'endoderme forme une poche digestive simple, d'abord continue, plus tard digérée sur les côtés et réduite à un petit bonnet autour du sommet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, simple sur les flancs, où ses cellules s'allongent transversalement pour attaquer d'abord l'écorce de la racine mère, puis s'y souder intimement, prend, au sommet même, deux cloisons tangentielles et détache sous le bonnet deux petites calottes de calyptre. Son écorce, terminée par une seule initiale, s'est cloisonnée quatre à cinq fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

En résumé, on voit que les Myrsinées ressemblent de tout point aux Primulacées par la façon dont les radicelles s'y produisent, s'y accroissent à travers l'écorce et finalement en sortent. Les affinités de ces deux familles se trouvent par là corroborées.

Plombaginées (pl. XVI, fig. 236-237). — La racine terminale du *Statice tatarica* a, sous l'assise pilifère, quatre assises corticales, dont la dernière est un endoderme à plissements médians. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend trois cellules, situées toutes du même côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'allongent radialement et se cloisonnent tangentiellement deux fois de suite pour séparer les trois régions. L'arc d'endo-

derme superposé dilate ses cellules et revêt la radicelle d'une poche digestive; simple au début, cette poche prend bientôt une première cloison tangentielle qui la dédouble dans toute son étendue, puis une seconde cloison autour de l'extrémité dans son assise interne, en sorte qu'elle est triple au moment de la sortie. Toutes ensemble, les radicelles sont donc insérées en quatre séries, plus ou moins rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux.

Même formation des radicelles dans une racine latérale de cette plante, avec cette différence que cette racine ayant trois ou quatre faisceaux ligneux et libériens, l'arc péricyclique rhizogène, formé de quatre ou six cellules, pose son milieu sur un faisceau ligneux et que les radicelles sont isostiques (fig. 236 et 237).

Sapotées. — Une racine latérale d'*Achras vitellina* a, sous l'assise pilifère, une dizaine d'assises corticales, dont la dernière est un endoderme plissé. Le cylindre central a cinq faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens alternes, disposés autour d'une assez large moelle; le péricycle est simple en dehors des faisceaux libériens, double en dehors des faisceaux ligneux. L'arc péricyclique rhizogène, comprenant six à huit cellules et dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît radialement et cloisonne tous ses éléments; mais c'est le rang externe seul, qui, par deux cloisonnements tangentiels successifs, sépare les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. Le rang interne ne produit que la base du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules et enveloppe le mamelon d'une poche digestive simple à la base, dédoublée autour de l'extrémité. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est divisée au moins quinze fois tangentiellement en formant une épaisse calyptre; son écorce, terminée par une initiale, n'a pris que deux ou trois cloisons vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Ébénacées (pl. XVI, fig. 238). — La racine terminale du *Dios-*

pyros virginiana a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse fortement différenciée à parois latérales plissées, et neuf autres assises corticales, dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux et quatre faisceaux libériens alternes autour d'une moelle. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît radialement ses cellules et les partage par deux cloisons tangentielles successives, de manière à séparer les trois régions. En même temps, les cellules endodermiques superposées se dilatent et ne se divisent que par des cloisons radiales, enveloppant le mamelon d'une poche digestive simple jusqu'à la fin, parfois double à l'extrémité, qui est digérée tout autour de la base (fig. 238). A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné cinq ou six fois au sommet. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée cinq fois à la base, où se fait le raccord des endodermes.

Styracées (pl. XVI, fig. 239). — Une racine latérale de *Styrax officinalis* a, sous l'assise pilifère, une écorce épaisse d'environ vingt assises, dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, çà et là double en face des faisceaux ligneux, et cinq faisceaux libériens alternes, disposés autour d'une large moelle. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, se cloisonne deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions avec leurs initiales. L'endoderme dilate en même temps ses cellules et les divise par des cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive; simple d'abord, celle-ci devient plus tard double ou triple à l'extrémité (fig. 239); à la fin elle est dirigée tout autour de la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné six fois autour du sommet pour donner une épaisse calyptre. Son écorce, terminée par une initiale, s'est divisée six fois vers la base.

Solanées (pl. XVI, fig. 240-241). — La racine terminale des Solanées a la structure binaire et produit ses radicelles en

quatre rangées tantôt équidistantes, tantôt plus ou moins rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux.

Dans les *Solanum* (*S. albidum*, *guineense*, etc.) et les *Lycopersicum* (*L. esculentum*), par exemple, la racine terminale a, sous l'assise pilifère, six ou sept assises corticales, dont la dernière est un endoderme à grandes cellules. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux unisériés confluents au centre et deux faisceaux libériens séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux assises conjonctives. Pour former une radicelle, cinq cellules péricycliques, situées toutes du même côté d'un faisceau ligneux, s'accroissent radialement, puis se cloisonnent deux fois de suite, et séparent ainsi les trois régions avec l'épistèle. En même temps, les quatre cellules endodermiques superposées se dilatent et ne prennent d'abord que quelques cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple ; mais bientôt cette poche prend une cloison tangentielle autour du sommet et y devient double (fig. 240) ; plus tard elle est résorbée suivant un court anneau basilaire. Ainsi constituée, la radicelle se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 40 degrés. A la sortie, son épiderme, qui reste assez longtemps indivis, a pris au sommet une cloison tangentielle. Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, s'est divisée trois ou quatre fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes. Son cylindre central a aussi une initiale au sommet.

Même structure binaire de la racine terminale, même formation des radicelles dans le péricycle latéralement par rapport aux faisceaux ligneux, avec poche endodermique dédoublée au sommet, puis digérée tout autour de la base, dans les autres Solanées étudiées. Le plus souvent, par exemple dans le *Capsicum annuum*, le *Physalis angulata*, le *Petunia violacea*, le *Browallia elata*, le *Datura Metel*, le *Salpiglossis sinuosus*, etc., la radicelle se fait tout entière d'un côté du faisceau ligneux, sans aucun chevauchement, et sa déviation est d'environ 45 degrés ; parfois même l'arc rhizogène

n'atteint pas le faisceau et laisse une ou deux cellules inactives entre son bord et le vaisseau le plus externe. Quelquefois, au contraire, par exemple dans le *Nicandra physalodes*, l'arc péricyclique rhizogène chevauche notablement sur le faisceau ligneux, et la déviation de la radicelle s'amoindrit d'autant, se réduisant par exemple à 35 ou 30 degrés.

La grande déviation habituelle des radicelles, dont les quatre séries sont rendues par là sensiblement équidistantes, rend la disposition quadrisériée très facile à constater du dehors chez les Solanées. Aussi est-il malaisé de comprendre comment elle a échappé à M. Clos, qui attribue aux Solanées le plus souvent cinq rangées de radicelles (*Physalis*, *Petunia*, *Nicotiana*), mais quelquefois aussi quatre, trois, deux et même six (*loc. cit.*, 1848, p. 32).

Une racine latérale de *Solanum tuberosum* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse fortement différenciée et six autres assises corticales, dont la dernière est un endoderme à petites cellules. Le cylindre central a un péricycle simple, cinq faisceaux ligneux unisériés autour d'une moelle et cinq faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène péricyclique, comprenant huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les divise par deux cloisons tangentielles successives pour séparer les trois régions avec leurs initiales. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et forme autour du mamelon une poche digestive d'abord simple, qui se dédouble plus tard autour de l'extrémité, et même y divise encore une fois son assise externe, de manière à avoir un sommet triple au moment de la sortie, tandis que sa base est alors résorbée tout autour. Dans une racine latérale à six faisceaux de *Solanum albidum*, la poche endodermique, après s'être dédoublée, divise chacune de ses deux assises par une cloison tangentielle, de manière à devenir quadruple au sommet (fig. 241). A la sortie, l'épiderme de la radicelle, qui demeure indivis sur les flancs, a pris à l'extrémité quatre ou cinq cloisons tangentielles. Son écorce, terminée par une ou deux initiales,

s'est divisée quatre fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes (1). Quand la racine latérale a six ou sept faisceaux, il n'est pas rare que les arcs rhizogènes correspondant à deux faisceaux voisins empiètent l'un sur l'autre, de façon que si deux radicelles naissent au même niveau en face de ces deux faisceaux, elles se fusionnent en une radicelle double, plus grosse que les radicelles ordinaires, et insérée en face d'un faisceau libérien.

Borraginées (pl. XVI, fig. 242). — La racine terminale des Borraginées a la structure binaire et produit ses radicelles primaires en quatre séries, équidistantes ou rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux.

Dans le *Borrago officinalis*, par exemple, la racine terminale a, sous l'assise pilifère, douze assises corticales, dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux unisériés confluents au centre et deux faisceaux libériens alternes, séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux rangs conjonctifs. L'arc péricyclique rhizogène comprend cinq cellules, situées toutes du même côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'accroissent radialement, puis se cloisonnent tangentiellement, une première fois pour séparer le cylindre central en dedans, une seconde fois en dehors de la première pour isoler l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle. La radicelle ainsi formée se dirige dans l'écorce avec une déviation de 45 degrés. Les cellules endodermiques superposées se dilatent autour d'elle pour lui faire une poche d'abord simple, mais qui ne tarde pas à se diviser par une cloison tangentielle assez près de la base, puis divise de nouveau son assise interne au voisinage du sommet où elle est triple; sa base est plus tard incorporée. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé à l'extrémité, sous la poche, deux ou trois calottes de calyptre; son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, s'est divisée deux

(1) D'après M. Flahault, diverses Solanées (*Solanum*, *Hyoscyamus*, *Datura*, *Mandragora*) auraient deux assises d'initiales pour l'écorce (*loc. cit.*, p. 90). Les radicelles n'ont, on le voit, qu'un seul rang d'initiales corticales.

ou trois fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes.

Même structure binaire de la racine terminale et même mode de formation des radicelles dans les autres Borraginées étudiées, notamment dans l'*Anchusa italica*, l'*Echium strictum*, le *Myosotis azorica*, etc.

Dans l'*Echium strictum* (fig. 242), la poche digestive ne prend qu'une cloison tangentielle et demeure double même au sommet. Dans le *Myosotis azorica*, elle ne se cloisonne pas et reste simple jusqu'après la sortie. En outre, dans l'*Echium*, l'arc péricyclique rhizogène dépasse quelquefois notablement le faisceau ligneux correspondant, ce qui diminue d'autant la déviation et rapproche deux par deux dans la même mesure les quatre séries de radicelles. Ce sont ces variations dans la grandeur de la déviation, suivant les genres, qui expliquent que M. Clos ait méconnu la constance de la disposition quadrisériée dans cette famille, en attribuant tantôt deux, tantôt quatre séries de radicelles aux genres qu'il a étudiés (*loc. cit.*, p. 31).

Hydrophyllées (pl. XVI, fig. 243). — La racine terminale des *Nemophila* (*N. maculata*, *N. discoidalis*) a, sous l'assise pilifère, dix assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux unisériés confluents et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, situé tout entier d'un côté par rapport à un faisceau ligneux, se cloisonne suivant le mode ordinaire pour former la radicelle. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les divise que par des cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche simple dans toute son étendue, à la fin digérée à la base (fig. 243). A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé sous la poche trois calottes de calyptre ; son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée cinq ou six fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes. Toutes ensemble, les radicelles de cette plante sont donc disposées en quatre séries équidistantes.

Il en est de même dans les *Nemophila discoidalis* et *phaceloides*, ainsi que dans l'*Eutoca viscida* et le *Witlavia minor*, mais avec chevauchement de l'arc péricyclique rhizogène, déviation plus petite des radicelles et par conséquent rapprochement deux par deux des quatre séries. Cette diminution assez fréquente de la déviation explique que M. Clos ait méconnu la disposition quadrisériée chez ces plantes et ne leur ait attribué à toutes que deux rangs de radicelles (*loc. cit.*, p. 32, 1848).

Polémoniées (pl. XVI, fig. 244). — La racine terminale du *Bonplandia geminiflora* a, sous l'assise pilifère, six assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux unisériés confluents et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, situé tout entier d'un côté d'un faisceau ligneux, se cloisonne comme d'ordinaire pour former la radicelle. L'arc d'endoderme superposé suit le mamelon en ne prenant que des cloisons radiales, de manière à former une poche digestive simple dans toute son étendue. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé au sommet trois calottes de calyptre; son écorce, terminée par une seule initiale, s'est divisée deux fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes (1). La radicelle traverse l'écorce avec une déviation plus grande que 45 degrés, qui peut atteindre 60 degrés; toutes ensemble les radicelles sont donc disposées en quatre séries, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux libériens.

Même structure binaire de la racine terminale, même formation de la radicelle avec poche endodermique simple et même disposition quadrisériée des radicelles dans les *Gilia* (*G. multicaulis*, *G. achillæfolia*), le *Leptosiphon californicum*,

(1) D'après M. Flahault, la racine terminale embryonnaire des *Polemonium* et des *Phlox* aurait deux assises d'initiales pour l'écorce (*loc. cit.*, p. 88). On voit que la radicelle n'a, ici comme partout ailleurs, qu'un seul rang d'initiales corticales.

le *Polemonium cœruleum*, le *Collomia coccinea* (fig. 244), le *Cobæa scandens;* seulement il arrive d'ordinaire ici que l'arc péricyclique chevauche plus ou moins sur le faisceau ligneux, ce qui diminue la déviation et rapproche les séries de radicelles deux par deux du côté des faisceaux ligneux (fig. 244). Ce sont ces variations dans la déviation qui ont empêché M. Clos de reconnaître la disposition tétrastique constante dans cette famille et qui lui ont fait attribuer deux, trois, quatre ou cinq rangs de radicelles aux plantes qu'il y a étudiées (*loc. cit.*, p. 30).

Convolvulacées (pl. XV, fig. 245-247). — La racine terminale du *Pharbitis purpurea* a, sous l'assise pilifère, six à huit assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux unisériés non confluents au centre, et quatre faisceaux libériens alternes (1). L'arc péricyclique rhizogène, comprenant six ou huit cellules, trois ou quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et, par deux cloisons tangentielles successives, sépare les trois régions avec leurs initiales (fig. 245). L'arc d'endoderme superposé se dilate en même temps et ne se divise que par des cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple et qui reste telle jusqu'à la fin, où elle est digérée circulairement à la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, demeuré simple sur les flancs, a pris autour du sommet trois cloisons tangentielles. Son écorce, terminée par deux initiales, ne s'est divisée que deux ou trois fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Même structure quaternaire de la racine terminale et même formation des radicelles avec poche endodermique simple, dans l'*Ipomœa cordigera* et dans le *Quamoclit coccinea*. Les choses se passent encore de la même manière dans les *Convolvulus* (*C. siculus*, *C. tricolor*), avec cette différence qu'ici la poche digestive, d'abord simple et demeurant telle sur les

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XIII, p. 246, 1871).

flancs, se dédouble autour de l'extrémité par une cloison tangentielle (fig. 247). L'épiderme de la radicelle commence aussi à se cloisonner plus bas et se trouve, à la sortie, avoir découpé cinq ou six calottes formant sous la poche une épaisse calyptre. Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, s'est divisée aussi cinq fois vers la base, où elle est plus épaisse que dans les genres précédents (1).

Une racine latérale de *Batatas insignis* a dans son cylindre central un péricycle simple, cinq faisceaux ligneux confluents au centre, et cinq faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, comprenant six cellules, accroît ses éléments et les divise deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions. L'endoderme forme autour de la radicelle une poche digestive simple dans toute son étendue, plus tard digérée circulairement à la base (fig. 246). Les radicelles naissent donc dans les racines latérales de ces plantes comme dans la racine terminale.

Nolanées (pl. XVI, fig. 248). — Les Nolanées, rattachées quelquefois comme tribu à la famille des Convolvulacées, s'en écartent par la structure de la racine. La racine terminale du *Nolana prostrata*, par exemple, a, dans son cylindre central, un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents et deux faisceaux libériens alternes. En conformité avec cette structure binaire, l'arc rhizogène péricyclique est situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux et les radicelles sont disposées en quatre séries dans l'ordre diplostique. L'arc d'endoderme superposé forme une poche digestive, bientôt dédoublée par une cloison tangentielle tout autour du sommet (fig. 248). A la sortie, l'épiderme de la radicelle n'a découpé que deux ou trois calottes de calyptre, et son écorce, terminée

(1) D'après MM. Eriksson et Flahault, la racine des Convolvulacées aurait au sommet au moins trois et jusqu'à cinq ou six assises d'initiales pour l'écorce (*loc. cit.*, p. 86). La radicelle ne possède, au contraire, comme on voit, qu'un seul rang de cellules au sommet de l'écorce et dans ce rang il n'y a qu'une ou deux initiales.

par deux initiales, ne s'est divisée que deux fois à la base, où se fait le raccord des endodermes.

Gentianées (pl. XVII, fig. 249-254). — Une racine latérale d'*Erythræa latifolia* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse à petites cellules, et cinq assises de cellules corticales disposés en séries radiales, dont la dernière est l'endoderme (fig. 249). Le cylindre central a un péricycle simple, trois faisceaux ligneux unisériés qui confluent plus tard au centre, et trois faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'allongent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions de la radicelle. L'arc d'endoderme superposé s'accroît aussi, ne prend que des cloisons radiales et forme autour du mamelon une poche digestive simple, bientôt digérée dans une assez grande hauteur à partir de la base par la croissance transversale de l'épiderme et de l'écorce sous-jacents, et [ne persistant qu'au sommet sous forme d'un petit bonnet (fig. 250). Autour de la radicelle, l'écorce de la racine mère change d'aspect dans un rayon assez étendu, au delà même de la portion qui sera digérée, et çà et là ses cellules y prennent une cloison longitudinale. L'action du liquide digestif se fait donc sentir ici assez loin. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, entier sur les flancs, n'a pris qu'une cloison tangentielle au sommet (fig. 250). Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, s'est divisée trois fois vers la base.

Une racine latérale de *Menyanthes trifoliata* a, sous une épaisse écorce lacuneuse, un cylindre central formé d'un péricycle simple, de six faisceaux ligneux unisériés et de six faisceaux libériens alternes, autour d'une petite moelle (fig. 251 et 252). L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu répond à un faisceau ligneux, accroît et cloisonne ses cellules comme d'ordinaire, pour constituer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. L'arc d'endoderme superposé enveloppe le mamelon d'une poche digestive simple,

d'abord continue, plus tard digérée à la base et n'entourant que l'extrémité à la façon d'un bonnet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris trois ou quatre cloisons tangentielles autour du sommet; son écorce, terminée par une paire d'initiales, s'est divisée aussi trois ou quatre fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Une racine latérale de *Limnanthemum nymphoides* (fig. 253 et 254) a, sous une épaisse écorce lacuneuse et à séries rayonnantes, un cylindre central composé d'un péricycle simple, de quatre faisceaux ligneux et d'autant de faisceaux libériens disposés autour d'une moelle. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît et cloisonne ses cellules suivant la règle, et l'arc d'endoderme superposé forme autour du mamelon une poche digestive simple. Plus tard cette poche est digérée à la base et enveloppe comme d'un bonnet l'extrémité de la radicelle, qui se dirige obliquement vers le bas en traversant l'écorce. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est divisé quatre fois tangentiellement au sommet. Son écorce, terminée par une paire d'initiales, s'est cloisonnée aussi quatre fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes (1).

Loganiées (pl. XVII, fig. 255 et 256).—La racine terminale du *Buddleia madagascarensis* a, sous l'assise pilifère, dix assises corticales, dont l'interne est un endoderme à petites cellules. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux confluents en croix au centre et quatre faisceaux libé-

(1) MM. Nägeli et Leitgeb ont étudié la formation des radicelles dans le *Limnanthemum geminatum* (*loc. cit.*, p. 145, 1868). Ils ont vu que la radicelle naît dans le péricycle et qu'elle est enveloppée par l'endoderme de la racine mère. Mais ils n'ont pas commis ici la même erreur que chez le *Lysimachia* (voy. p. 231); car ils ont reconnu que si l'endoderme forme la partie extérieure de la coiffe de la radicelle, c'est l'épiderme de celle-ci qui, par ses cloisonnements tangentiels, produit la partie interne de la coiffe. La coiffe a donc ici une double origine. Sauf l'interprétation différente donnée par nous à la poche endodermique, nos observations sur le *Limnanthemum* sont donc d'accord avec celles de MM. Nägeli et Leitgeb.

riens alternes (1). L'arc péricyclique rhizogène comprend huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'accroissent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les cloisonne radialement et enveloppe le mamelon d'une poche simple dans toute son étendue, plus tard digérée circulairement à la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris trois cloisons tangentielles dont la première, très précoce, commence très près de la base. Son écorce, terminée par deux initiales étroites, s'est divisée quatre fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Une racine de *Logania longifolia* a, dans son cylindre central, un péricycle simple, deux faisceaux ligneux non confluents au centre et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend six cellules, toutes d'un même côté d'un faisceau ligneux (fig. 255). Ces cellules s'accroissent radialement et se divisent tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions avec leurs initiales. Le mamelon ainsi constitué se dirige dans l'écorce avec une déviation de 30 à 35 degrés. Toutes ensemble, les radicelles sont donc disposées en quatre séries, faiblement rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les cloisonne que radialement pour former une poche digestive simple, plus tard dédoublée au sommet et digérée à la base (fig. 256). A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé trois calottes de calyptre, et son écorce, terminée par une ou deux initiales entre deux segments entiers, s'est divisée trois fois vers la base, où les endodermes se raccordent.

Apocynées (pl. XVII, fig. 257-259). — La racine terminale de l'*Amsonia ciliata* a, sous l'assise pilifère, six assises corti-

(1) Cette structure quaternaire de la racine terminale éloigne les *Buddleia* des Scrofulariacées où on les classait autrefois et qui ont, comme on le verra plus loin, la racine terminale binaire.

cales, dont l'interne est un endoderme à plissements très marqués. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux non confluents et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux (fig. 257); il accroît radialement ses éléments et les divise tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions et l'épistèle. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les cloisonne que radialement, de manière à envelopper le mamelon d'une poche simple et qui demeure telle jusqu'à la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle a découpé deux calottes de calyptre, et son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée deux fois à la base, où se fait le raccord des endodermes.

Une racine latérale de *Vinca major* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse fortement différenciée et quatorze assises corticales, dont la dernière est un endoderme à petites cellules. Le cylindre central a sept faisceaux ligneux unisériés et autant de faisceaux libériens alternes, pourvus de chaque côté d'un tube laticifère; ces faisceaux sont rangés autour d'une large moelle et entourés d'un péricycle simple en dehors des faisceaux libériens, double vis-à-vis des faisceaux ligneux. Dans la moelle, au bord interne de chaque faisceau ligneux, les cellules se cloisonnent et produisent un petit groupe de tubes criblés; il se fait donc du liber interne dans la racine de ces plantes, tout aussi bien que dans leur tige et leur feuille. L'arc péricyclique rhizogène, large de sept cellules dont la médiane est superposée à un faisceau ligneux, accroît ses deux rangées; mais c'est le rang externe qui grandit le plus et qui produit seul, par deux cloisons tangentielles successives, les trois régions avec leurs initiales (fig. 258). L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les cloisonne que radialement, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple jusqu'à la sortie, où elle est digérée circulairement à la base. A ce moment, l'épiderme de la radicelle, simple sur les flancs, a pris trois cloisons autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par une seule initiale, s'est divisée cinq fois

vers la base, où se fait le raccord des endodermes. Le cylindre central a aussi une grande initiale au sommet (fig. 258).

Dans une racine latérale plus étroite et n'ayant que trois faisceaux ligneux, les choses se passent de même, avec cette différence que le péricycle y est simple tout autour. Elles ont lieu aussi de la même manière dans une racine latérale ternaire à péricycle simple d'*Apocynum hypericifolium*. Cette racine devient binaire plus bas, mais déjà, quand elle possède encore son troisième faisceau, les radicelles s'y forment latéralement par rapport aux deux autres : nouvel exemple d'anticipation de la disposition diplostique sur l'état binaire de la structure.

Asclépiadées (pl. XVII, fig. 260). — La racine terminale du *Periploca græca* a, sous l'assise pilifère, neuf assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux non confluents et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, comprenant huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les cloisonne tangentiellement deux fois de suite pour séparer les trois régions avec leurs initiales. Les cellules endodermiques superposées se dilatent en même temps et ne se divisent que par quelques cloisons radiales, en enveloppant le mamelon d'une poche digestive simple, plus tard digérée circulairement à la base (fig. 260). A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris deux cloisons tangentielles à l'extrémité. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée trois fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

La racine terminale des *Asclepias* (*A. tuberosa*, *A. curassavica*) diffère de celle du *Periploca* par sa structure binaire et par la position de l'arc péricyclique rhizogène, qui est situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux, de façon que la radicelle fait une déviation d'environ 40 degrés et que toutes ensemble les radicelles primaires sont disposées en quatre séries, rapprochées deux par deux du côté des

faisceaux ligneux. D'ailleurs la poche digestive y est simple aussi et plus tard digérée à la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé trois calottes de calyptre et son écorce, terminée par une seule initiale, s'est divisée deux fois à la base, où s'établit le raccord des endodermes (1).

Oléacées (pl. XVII, fig. 261). — La racine terminale du *Fraxinus americana* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse fortement différenciée à parois latérales plissées, et neuf assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux bisériés et quatre faisceaux libériens alternes, disposés autour d'une large moelle. L'arc péricyclique rhizogène, comprenant huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement et cloisonne tangentiellement deux fois ses éléments pour séparer les trois régions avec leurs initiales. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne prend que des cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple dans toute son étendue, plus tard digérée circulairement à la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé au sommet deux ou trois calottes de calyptre. Son écorce, terminée par une ou deux initiales, s'est divisée trois fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées (2).

Scrofulariacées (pl. XVII, fig. 262). — La racine terminale des Scrofulariacées a la structure binaire et dispose ses radicelles en quatre séries, tantôt équidistantes, tantôt plus ou moins rapprochées du côté des faisceaux ligneux.

Dans les *Linaria* (*L. bipartita*, *chalepensis*, *origanifolia*),

(1) D'après M. Eriksson, la racine de diverses Asclépiadées, notamment des *Asclepias*, aurait au sommet deux ou trois assises d'initiales corticales. On voit que la radicelle n'a qu'une seule initiale pour l'écorce; mais, précisément à cause de cela, il suffit d'un très léger défaut d'axilité des coupes pour faire apparaître deux assises au sommet.

(2) D'après M. Flahault, la racine terminale embryonnaire des *Fraxinus* aurait au sommet trois assises d'initiales pour l'écorce (*loc. cit.*, p. 104), tandis que, suivant M. Eriksson, la racine développée n'en aurait qu'une assise. On voit que les radicelles n'ont qu'un seul rang d'initiales.

par exemple, le pivot a, sous l'assise pilifère, trois ou quatre assises corticales, dont la dernière est un endoderme à grandes cellules. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux unisériés confluents au centre et deux faisceaux libériens séparés de la bande vasculaire diamétrale par deux assises conjonctives. L'arc péricyclique rhizogène, comprenant cinq cellules situées toutes d'un même côté d'un faisceau ligneux, agrandit radialement ses éléments et les cloisonne tangentiellement deux fois de suite pour séparer les trois régions et l'épistèle. Le mamelon ainsi formé se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 40 degrés; toutes ensemble les radicelles sont donc disposées en quatre séries presque équidistantes. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses trois grandes cellules et ne les divise que par des cloisons radiales, de manière à former une poche digestive simple dans toute son étendue, plus tard digérée circulairement à la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, entier sur les flancs, a découpé autour de l'extrémité deux calottes de calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée deux fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes.

Même structure binaire de la racine terminale et même formation des radicelles en quatre séries, avec poche endodermique simple, dans les autres Scrofulariacées étudiées, notamment dans les *Collinsia bicolor*, *Digitalis purpurea*, *Scrophularia Erharti*, *Calceolaria pinnata*, *Verbascum Thapsus*, *Veronica Buxbaumii*, etc. (1). Ce qui varie, c'est seulement la position de l'arc rhizogène, qui parfois dépasse plus ou moins le faisceau ligneux, ce qui diminue la déviation et rapproche deux par deux les quatre séries de radicelles. Ces variations expliquent que la constance de la disposition tétrastique dans cette famille ait échappé à M. Clos et que ce botaniste ait attribué tantôt deux, tantôt quatre rangs de

(1) MM. Nägeli et Leitgeb citent le *Veronica Beccabunga* parmi les exemples qu'ils ont étudiés et où l'endoderme contribue à former la coiffe, mais sans donner à ce sujet d'autres détails.

radicelles aux plantes qu'il a étudiées (*loc. cit.*, p. 33, 1848).

Une racine latérale à trois faisceaux de *Pentstemon procerus*, à quatre faisceaux de *Verbascum Thapsus* ou de *Veronica Beccabunga* (fig. 262), à cinq faisceaux de *Veronica Allionii*, forme ses radicelles de la même manière, mais vis-à-vis des faisceaux ligneux. Une grosse racine latérale de *Scrophularia Erharti*, pourvue de sept faisceaux ligneux autour d'une large moelle, a, en outre, un péricycle double en face des faisceaux ligneux; néanmoins, c'est le rang externe seul qui, par deux cloisons tangentielles, produit les trois régions avec leurs initiales. Le rang interne ne donne que la base du cylindre central.

Labiées (pl. XVII, fig. 263-264). — La racine terminale des Labiées a la structure binaire et dispose ses radicelles en quatre séries, tantôt équidistantes, tantôt plus ou moins rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux.

Dans les *Salvia* (*S. hispanica*, *S. æthiopica*, etc.), par exemple, le pivot a, sous l'assise pilifère, six assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux unisériés confluents au centre, et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend, par exemple, cinq cellules, situées toutes du même côté d'un faisceau ligneux; elles se cloisonnent comme d'ordinaire pour donner les trois sortes d'initiales. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les divise que radialement, entourant ainsi le mamelon d'une poche digestive simple dans toute son étendue. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé au sommet deux calottes de calyptre; son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée deux fois à la base, où s'opère le raccord des endodermes (1). La radicelle ainsi formée traverse l'écorce sous une déviation de 40 à 45 degrés; les quatre séries sont donc à peu près équidistantes.

Même structure binaire de la racine terminale et même

(1) D'après MM. Eriksson et Flahault, la racine des Labiées aurait quelquefois deux assises d'initiales pour l'écorce (*Salvia*, *Stachys*, etc.). On voit que la radicelle n'en a toujours qu'une seule.

formation des radicelles avec poche endodermique simple dans les autres Labiées étudiées, notamment dans les *Lamium hybridum*, *Galeopsis Tetrahit*, *Marrubium leonuroides*, *Dracocephalum peregrinum*, *Teucrium betonicum*, *Nepeta botryoides*, *Satureia illirica*, *Sideritis montana*, *Lophanthus chinensis* (fig. 263), *Leonurus tataricus* (fig. 264) et *capitatus*, *Ocymum basilicum* et *violaceum*, *Stachys alpina*, *Leucas decemdentata*, etc. Ce qui varie, c'est la déviation, qui est assez souvent plus petite que 45 degrés, ce qui rapproche deux par deux les quatre séries de radicelles. Ici, comme chez les Scrofulariacées, ce sont ces variations qui ont empêché M. Clos de reconnaître la constance de la disposition quadrisériée et l'ont porté à admettre tantôt deux, tantôt quatre rangées de radicelles dans les Labiées (*loc. cit.*, p. 34, 1848).

Gesnéracées (pl. XVII, fig. 265-266). — La racine terminale du *Nematanthus Guilleminianus* a, sous l'assise pilifère, six assises corticales, dont la dernière est un endoderme à grandes cellules. Le cylindre central a un péricycle simple, cinq faisceaux ligneux courts unisériés et cinq faisceaux libériens alternes, disposés autour d'une large moelle. L'arc péricyclique rhizogène comprend quatre cellules, deux de chaque côté d'un faisceau ligneux (fig. 265). Ces cellules s'accroissent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, découpent les trois régions et l'épistèle. L'arc d'endoderme superposé dilate ses trois cellules et ne les divise que radialement, enveloppant ainsi le mamelon d'une poche digestive simple. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, simple sur les flancs, a découpé deux calottes de calyptre à l'extrémité. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée trois fois à la base, où se fait le raccord des endodermes.

Même structure quinaire de la racine terminale et même formation des radicelles dans le *Crescentia Cujete*. Dans le *Martynia lutea*, la racine terminale a quatre faisceaux ligneux et libériens; les radicelles s'y forment de la même manière, avec poche endodermique simple.

La racine terminale du *Gloxinia caulescens* et du *Sesamum orientale* (fig. 266) a son cylindre central binaire et les radicelles y prennent naissance dans le péricycle de part et d'autre des deux faisceaux ligneux, en quatre rangées par conséquent, enveloppées d'une poche endodermique simple. Leur déviation est ordinairement faible. L'arc rhizogène comprend, par exemple, huit cellules, cinq d'un côté du faisceau ligneux, trois de l'autre côté (fig. 266) ; l'angle est alors de 15 à 20 degrés seulement et les quatre rangées sont fort rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux (1).

Bignoniacées (pl. XVIII, fig. 267). — La racine terminale du *Bignonia Kæmpferi* a, sous l'assise pilifère, dix assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux unisériés, et quatre faisceaux libériens alternes, disposés autour d'une moelle. L'arc péricyclique rhizogène, qui comprend huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les divise tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions avec leurs initiales. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les cloisonne radialement et forme une poche digestive simple, plus tard détachée par glissement vers la base, et dont l'anneau inférieur est incorporé. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé trois calottes de calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales entre deux segments entiers, s'est divisée trois fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes.

Même structure quaternaire de la racine terminale et même formation des radicelles avec poche endodermique simple, dans le *Catalpa Bungei* (fig. 267) et dans l'*Incarvillea sinensis*. La racine terminale du *Calosanthus indica* a, dans son cylindre central, sept faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens, rangés autour d'une large moelle et entourés d'un

(1) D'après M. Flahault, la racine terminale embryonnaire du *Martynia lutea* aurait deux assises d'initiales corticales (*loc. cit.*, p. 97). On voit que la radicelle de cette plante n'a qu'une rangée d'initiales pour l'écorce.

péricycle simple devant les faisceaux libériens, double vis-à-vis des faisceaux ligneux. C'est néanmoins le rang péricyclique externe qui, par deux cloisons tangentielles, découpe les trois régions; l'autre ne donne que la région inférieure du cylindre central.

Une racine de *Tecoma radicans* a, dans son cylindre central, sous un péricycle simple, sept faisceaux ligneux et libériens autour d'une moelle scléreuse. La radicelle s'y fait de la même manière, entourée d'une poche endodermique simple, digérée tout autour de la base. A la sortie, son épiderme a découpé cinq calottes de calyptre, et son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée cinq fois vers la base, où s'établit le raccord des endodermes (1).

Acanthacées (pl. XVIII, fig. 268). — Une racine d'*Acanthus spinosus* a, sous l'assise pilifère, vingt-cinq assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a huit faisceaux ligneux courts et autant de faisceaux libériens très étalés, disposés autour d'une moelle très large et entourés d'un péricycle simple en dehors des faisceaux libériens, triple ou double en face des faisceaux ligneux. L'arc péricyclique rhizogène, comprenant douze cellules dans le rang externe, six de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît tous ses éléments; mais c'est l'assise externe seule qui, par deux cloisons tangentielles successives, découpe les trois régions avec leurs initiales; l'autre ou les deux autres ne donnent que la base du cylindre central. En même temps, l'endoderme dilate ses cellules et les cloisonne radialement de manière à entourer le mamelon d'une poche simple dans toute son étendue; elle est à la fin détachée par glissement un peu au-dessus de sa base, qui est incorporée. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé trois calottes de calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée quatre

(1) M. Flahault attribue à la racine terminale embryonnaire des *Tecoma* et *Catalpa* deux assises d'initiales corticales (*loc. cit.*, p. 97). On voit que la radicelle de ces plantes n'a qu'un seul rang d'initiales pour l'écorce.

fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes (1).

Dans une radicelle d'*Acanthus spinosus* ou d'*A. longifolius*, le cylindre central est binaire, formé de deux faisceaux ligneux non confluents et de deux faisceaux libériens, avec un péricycle simple tout autour (fig. 268). Les radicelles d'ordre supérieur y naissent de la même manière, mais l'arc rhizogène est tout entier situé du même côté d'un faisceau ligneux, de façon que la déviation est d'environ 45 degrés. Elles sont donc disposées en quatre séries équidistantes.

Sélaginées (pl. XVIII, fig. 269). — La racine terminale de l'*Hebenstreitia dentata* a, sous l'assise pilifère, quatre assises corticales, dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux; ces cellules s'allongent radialement, puis, par deux cloisons tangentielles, se résolvent dans les trois régions. En même temps l'endoderme entoure le mamelon d'une poche digestive simple dans toute son étendue. A la sortie, l'épiderme de la radicelle n'a pris qu'une cloison tangentielle autour de l'extrémité (fig. 269). Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments entiers, ne s'est aussi divisée qu'une fois vers la base, où commence pourtant à s'opérer le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Myoporées (pl. XVIII, fig. 270). — Une racine de *Myoporum acuminatum* a, dans son cylindre central, un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux non confluents et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux; ces cellules se cloisonnent comme d'ordinaire pour donner les trois régions (fig. 270). L'endoderme se développe autour de la radicelle en une poche digestive, d'abord simple, plus tard dédoublée tout autour du sommet.

(1) D'après M. Flahault, la racine terminale embryonnaire de l'*Acanthus*

Verbénacées (pl. XVIII, fig. 271).— La racine terminale des *Verbena* (*V. officinalis*, *V. caroliniana*, *V. striata*) a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales, dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, comprenant six cellules, toutes situées du même côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les cloisonne tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions avec leurs initiales. La déviation est donc d'environ 40 degrés, et toutes les radicelles primaires sont disposées en quatre séries presque équidistantes, disposition qui a été reconnue dans ce cas par M. Clos (*loc. cit.*, p. 34). L'endoderme dilate en même temps ses cellules et forme une poche simple dans toute son étendue (fig. 271). A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé deux calottes de calyptre, et son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée deux fois à la base, où les endodermes se raccordent.

La racine terminale du *Tectona grandis* a, dans son cylindre central, quatre faisceaux ligneux et libériens. Les radicelles s'y forment de la même manière dans le péricycle simple, mais vis-à-vis des faisceaux ligneux.

Plantaginées (pl. XVIII, fig. 272). — La racine terminale des *Plantago* (*P. Durvilleana*, *Lœflingii*, *Guilleminiana*) a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales, dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène comprend huit cellules, six d'un côté d'un faisceau ligneux, deux de l'autre côté; il accroît ses éléments et les cloisonne tangentiellement, comme d'ordinaire, pour séparer les trois régions avec l'épistèle (fig. 272). Le mamelon ainsi formé se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 35 degrés. Toutes les radicelles sont donc disposées en quatre séries, rapprochées deux par deux du côté

spinosus aurait au sommet trois ou quatre assises d'initiales corticales (*loc. cit.*, p. 95). On voit que la radicelle n'en a qu'une.

des faisceaux ligneux. La constance de cette disposition a été méconnue par M. Clos, qui attribue à ces plantes le plus souvent trois, quelquefois quatre rangées de radicelles (*loc. cit.*, p. 35, 1848). L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les cloisonne que radialement, de façon à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple dans toute son étendue. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, simple sur les flancs, a découpé au sommet deux calottes de calyptre. Son écorce, terminée par une ou deux initiales, s'est divisée deux fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

VI. — GAMOPÉTALES INFÉROVARIÉES.

Campanulacées (pl. XVIII, fig. 273). — La racine terminale des *Campanula* (*C. cervicana, C. azurea, C. Medium*) a, sous l'assise pilifère, cinq ou six assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène péricyclique, situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux, accroît radialement et cloisonne tangentiellement deux fois ses cellules pour séparer les trois régions avec leurs initiales. La déviation est d'environ 35 degrés, et les radicelles sont disposées en quatre rangées, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. En même temps, l'endoderme dilate ses cellules et ne les divise que par des cloisons radiales, entourant ainsi le mamelon d'une poche digestive simple dans toute son étendue. A la sortie, l'épiderme de la radicelle n'a séparé encore qu'une calotte de calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales, ne s'est divisée aussi qu'une seule fois vers la base, où commence à se faire le raccord des endodermes (fig. 273).

Même structure binaire de la racine terminale et même formation des radicelles avec poche endodermique simple dans les autres Campanulacées étudiées, notamment dans les *Adenophora stylosa*, *Jasione montana*, *Roella ciliata*, etc. Ce qui varie, c'est la grandeur de la déviation, et, par suite, le degré de rapprochement des quatre séries deux par deux. Ces

variations ont empêché M. Clos de reconnaître la constance de la disposition quadrisériée dans cette famille, où il admet tantôt deux, tantôt trois ou quatre rangées de radicelles, suivant les genres et les espèces étudiés (*loc. cit.*, p. 29).

Lobéliées (pl. XVIII, fig. 274). — La racine terminale des Lobéliées (*Lobelia ramosa*, *L. Cliffortiana*, *Monopsis debilis*) a également la structure binaire et forme ses radicelles dans son péricycle simple, suivant le procédé ordinaire et en quatre rangées, plus ou moins rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux, disposition qui a été, ici aussi, et toujours pour la même cause, méconnue par M. Clos (*loc. cit.*, p. 29). La radicelle est également enveloppée d'une poche endodermique simple dans toute son étendue (fig. 274).

Stylidiées. — Une racine latérale de *Stylidium fasciculatum* a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales, dont l'interne est un endoderme à grandes cellules. Le cylindre central a un péricycle simple, cinq faisceaux ligneux non confluents et cinq faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux; ces cellules s'accroissent radialement et se divisent tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions avec leurs initiales. En même temps, les trois grandes cellules endodermiques superposées se dilatent, se cloisonnent radialement et entourent le mamelon d'une poche digestive simple, plus tard digérée à la base et entraînée au sommet sous forme de bonnet.

Goodéniées. — Une racine latérale de *Goodenia radicans* a, sous une écorce lacuneuse, un cylindre central muni d'un péricycle simple, de trois faisceaux ligneux non confluents et de trois faisceaux libériens alternes. La radicelle prend naissance dans le péricycle en face d'un faisceau ligneux, à la manière ordinaire. L'endoderme l'enveloppe aussi d'une poche digestive simple dans toute son étendue. Un peu avant la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé au sommet trois calottes de calyptre, et son écorce, terminée par deux initiales, s'est

divisée trois fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Cucurbitacées (pl. XVIII, fig. 275-282). — M. de Janczewski a étudié la formation des radicelles dans le *Cucurbita Pepo*. Sans donner à cet égard le détail de ses observations, il affirme que les choses s'y passent comme dans les *Cicer*, *Pisum* et *Phaseolus*, c'est-à-dire que le péricycle de la racine mère ne donne que le cylindre central de la radicelle, dont l'écorce et l'épiderme dérivent à la fois de l'endoderme et des assises corticales internes de la racine mère (*loc. cit.*, p. 58, 1874). Nous allons voir que cette opinion est aussi peu fondée ici que chez les Légumineuses.

La racine terminale des Cucurbitacées possède, comme on sait, la structure quaternaire et dispose ses radicelles en quatre rangées vis-à-vis des faisceaux ligneux (1).

Dans le *Sicyos angulatus*, par exemple, la racine terminale a, sous l'assise pilifère, cinq ou six assises corticales, dont la dernière est un endoderme à petits plissements. Le cylindre central a un péricycle simple, parfois double, quatre faisceaux ligneux non confluents au centre, et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène, comprenant six à dix cellules, trois à cinq de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les cloisonne tangentiellement à deux reprises pour séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales (fig. 275). L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules et ne les divise d'abord que par des cloisons radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple; c'est plus tard seulement que les deux cellules terminales prennent une cloison tangentielle, de sorte qu'au moment de la sortie la poche est double au sommet (fig. 276) ; elle est alors digérée un peu au-dessus de sa base, qui est incorporée. L'épiderme de la radicelle sortante n'a pris encore qu'une seule cloison tangentielle autour de

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XIII, p. 212, 1871).

l'extrémité; son écorce, terminée par une initiale, ne s'est divisée que deux fois vers la base, où commence à se faire le raccord des endodermes par les cellules triplissées (fig. 276).

Même structure quaternaire de la racine terminale et même formation des radicelles dans le péricycle unisérié chez le *Benincasa cerifera* (fig. 277). La poche digestive y est encore simple au début et demeure telle dans sa région inférieure (fig. 278); mais elle prend plus tard une cloison tangentielle qui s'étend à la plus grande partie de sa surface, ce qui la rend double non seulement au sommet, mais encore sur les flancs (fig. 279). A la sortie, l'épiderme a pris deux cloisons tangentielles et est devenu triple au sommet; l'écorce, terminée par une initiale accompagnée d'un seul côté ou des deux côtés à la fois par un segment entier, s'est divisée deux ou trois fois vers la base, et se raccorde, à travers l'épistèle, avec l'endoderme de la racine mère par l'intermédiaire des cellules triplissées.

La racine terminale du *Lagenaria vulgaris* a la même structure et produit ses radicelles de la même manière dans le péricycle simple, avec cette différence que l'épiderme et l'écorce se séparent plus bas et que l'épistèle est plus courte que dans les deux genres précédents (fig. 280). En outre, l'arc d'endoderme superposé se divise ici de très bonne heure et dans toute sa surface par une cloison tangentielle, de sorte que la poche digestive est double dans toute son étendue. Quelquefois elle est double sur l'un des flancs de la radicelle et demeure simple sur le flanc opposé (fig. 280); quelquefois, au contraire, elle est triple d'un côté, double de l'autre ou même triple dans toute son étendue, parce que l'assise sus-endodermique accroît ses cellules et s'ajoute à la poche endodermique.

Dans la racine terminale de *Cucumis Melo*, le péricycle est double en face des faisceaux ligneux. L'arc péricyclique rhizogène accroît ses deux rangs de cellules, mais c'est l'assise externe seule, qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare les trois régions de la radicelle avec leurs initiales; l'assise interne ne donne que la base du cylindre (fig. 281). L'arc d'endoderme superposé, ainsi que l'arc sus-endoder-

mique correspondant, agrandissent en même temps leurs cellules et enveloppent la radicelle d'une poche d'abord double, qui devient bientôt triple et quadruple par le cloisonnement tangentiel de ses éléments.

Dans la racine terminale du *Cucurbita Pepo*, le péricycle est triple et parfois quadruple en face des faisceaux ligneux. L'arc rhizogène accroît toutes ses cellules, mais c'est le rang externe seul qui, par deux cloisons tangentielles, sépare les trois régions de la radicelle avec leurs initiales (fig. 282). Les autres assises ne produisent que la région inférieure du cylindre central (1). En même temps, non seulement l'endoderme, mais encore les deux, trois ou même quatre assises corticales superposées, agrandissent leurs cellules et forment autour de la radicelle une poche digestive épaisse dès le début et qui va s'épaississant encore plus tard par l'accroissement radial et le cloisonnement tangentiel de plusieurs des assises qui la composent.

La grande épaisseur de la poche digestive dans les *Cucumis* et les *Cucurbita* a pour effet de ralentir chez ces plantes le cloisonnement tangentiel de l'épiderme et de l'écorce de la radicelle. A la sortie, l'épiderme de celle-ci est parfois encore simple ou seulement dédoublé au sommet, et son écorce ne s'est divisée qu'une ou deux fois vers la base.

En résumé, les radicelles des Cucurbitacées se forment tout entières dans le péricycle et, quand celui-ci est composé, c'est aux dépens de son assise externe seule que se constituent leurs trois sortes d'initiales (2). La part contributive de l'écorce se réduit ici, comme partout ailleurs, à la constitution d'une poche digestive plus ou moins épaisse. L'épaisseur de

(1) Dans notre Note préliminaire (*Bull. de la Soc. bot.*, 26 novembre 1886), nous avons admis que, dans les *Cucurbita*, l'assise externe du péricycle ne produit que l'épiderme et l'écorce de la radicelle, la seconde assise formant le cylindre central. Il y a là, comme on voit, un point à rectifier.

(2) D'après M. de Janczewski (*loc. cit.*, p. 28), M. Eriksson (*loc. cit.*, p. 419) et M. Flahault (*loc. cit.*, p. 136), la racine des Cucurbitacées aurait au sommet un groupe d'initiales communes à ses trois régions. On voit que dans les radicelles les trois régions ont, au contraire, des initiales distinctes, quoique peu différenciées.

cette poche offre ici, suivant les plantes, une série de modifications analogues à celles que nous avons rencontrées dans bien d'autres familles, notamment chez les Légumineuses. Quand elle est très grande, elle réagit sur l'épiderme et sur l'écorce pour en ralentir l'épaississement transversal et, par suite, le cloisonnement tangentiel, réaction dont nous avons déjà constaté bien des exemples.

Rubiacées (pl. XIX, fig. 283-286). — La racine terminale du *Cephalanthus occidentalis* a, sous l'assise pilifère, six à huit assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents au centre et deux faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène péricyclique comprend six ou sept cellules, situées toutes du même côté d'un faisceau ligneux; il accroît radialement ses éléments et les cloisonne deux fois tangentiellement pour dégager les trois régions avec leurs initiales (fig. 285). Le mamelon ainsi formé se dirige dans l'écorce sous une déviation de 45 degrés, et toutes les radicelles primaires sont, en conséquence, disposées en quatre séries équidistantes. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les cloisonne que radialement, de façon à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple. Cette poche est bientôt digérée sur les flancs et ne persiste qu'au sommet sous forme de bonnet (fig. 286). A la sortie, l'épiderme de la radicelle, simple sur les côtés, a découpé autour de l'extrémité trois calottes de calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée trois fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Même structure binaire de la racine terminale et même formation des radicelles avec poche endodermique simple, digérée sur les flancs et formant un bonnet à l'extrémité, dans les autres Rubiacées étudiées, notamment dans les *Sherardia arvensis*, *Galium Valantium*, *Asperula arvensis*, *Phyllis nobla*, *Richardsonia scabra*, etc. Ce qui varie, c'est la grandeur de la déviation, qui est tantôt de 45 degrés, tantôt notablement plus petite. Les quatre séries de radicelles sont alors rapprochées

deux par deux du côté des faisceaux ligneux. C'est ce qui explique que M. Clos, tout en reconnaissant que la disposition est en général quadrisériée dans ces plantes, n'y ait vu quelquefois que deux rangs de radicelles (*loc. cit.*, p. 26).

Une racine latérale d'*Asperula taurina* a, dans son cylindre central, un péricycle simple, quelquefois double en face des faisceaux ligneux, cinq faisceaux ligneux unisériés courts autour d'une large moelle et cinq petits faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, produit la radicelle comme d'ordinaire (fig. 283). L'arc d'endoderme superposé dilate aussi ses cellules et forme une poche simple, qui persiste plus longtemps latéralement que dans les radicelles de la racine terminale. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé deux calottes de calyptre, et son écorce, terminée par une ou deux initiales, s'est divisée trois fois vers la base (fig. 284). Quand l'arc péricyclique est double, c'est le rang externe seul qui donne les trois sortes d'initiales.

Valérianées (pl. XIX, fig. 287). — La racine terminale des *Centranthus* (*C. Calcitrapa*, *C. nervosus*) a, sous l'assise pilifère, six à huit assises corticales, dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents et deux faisceaux libériens (1). L'arc péricyclique rhizogène, situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux, produit, suivant la règle ordinaire, une radicelle dont la déviation est d'environ 35 degrés. Toutes les radicelles sont donc insérées en quatre séries, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. L'endoderme enveloppe le mamelon d'une poche digestive simple jusqu'après la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle a découpé deux calottes de calyptre, et son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée deux fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Même structure binaire de la racine terminale et même for-

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 241).

mation des radicelles, avec poche endodermique simple, dans les *Valeriana officinalis*, *Valerianella hamata*, *fallax* (fig. 287) et *discoidea*, *Fedia gracilifolia*, etc. La déviation varie, et c'est ce qui explique que M. Clos ait attribué à ces plantes deux, trois ou quatre séries de radicelles (*loc. cit.*, p. 26).

Caprifoliacées (pl. XIX, fig. 288-292). — Une racine latérale d'*Adoxa Moschatellina* a, sous l'assise pilifère, quatre assises corticales, dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène a six cellules, toutes situées du même côté d'un faisceau ligneux (fig. 288). Ces cellules s'accroissent radialement, puis se divisent par deux cloisons tangentielles pour découper les trois régions avec leurs initiales. Le mamelon ainsi formé se dirige dans l'écorce en faisant une déviation de 45 degrés. Toutes les radicelles sont donc disposées en quatre séries équidistantes. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et forme une poche digestive simple dans toute son étendue, bientôt détachée un peu au-dessus de la base (fig. 288). A la sortie, l'épiderme de la radicelle n'a découpé au sommet qu'une calotte de calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales entre deux segments entiers, ne s'est divisée qu'une fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Une racine de *Viburnum rigidum* a, sous l'assise pilifère, une écorce épaisse, dont l'avant-dernière assise porte, sur les faces latérales et transverses de chacune de ses cellules, un cadre fortement épaissi et lignifié; tous ensemble, ces cadres rectangulaires constituent le réseau sus-endodermique de soutien, dont l'un de nous a signalé l'existence et étudié les variations dans la famille des Caprifoliacées (1); ce réseau est précoce; il est déjà constitué au niveau où naissent les radicelles (fig. 291). Le cylindre central a trois faisceaux ligneux non confluents, trois faisceaux libériens alternes et

(1) Ph. Van Tieghem, *Sur le réseau sus-endodermique des Caprifoliacées* (*Bull. de la Soc. bot.*, séance du 21 juin 1887).

un péricycle double en face des faisceaux ligneux, simple en face des faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît radialement ses deux rangs, mais c'est le rang externe seul qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare les trois régions avec leurs initiales; le rang interne ne produit que la base du cylindre central (fig. 292). En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et forme autour de la radicelle une poche digestive d'abord simple, plus tard dédoublée par une cloison tangentielle au sommet (fig. 292). Cette poche attaque d'abord l'assise sus-endodermique, dont les cadres d'épaississement s'amincissent et s'effacent peu à peu, puis la dissout complètement; après quoi, elle digère successivement, comme partout ailleurs, toutes les autres assises corticales. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, qui se cloisonne très activement au sommet, a découpé dix à douze assises formant une épaisse calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée une dizaine de fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Dans une racine de la même plante, n'ayant que deux faisceaux ligneux et libériens, le péricycle est simple tout autour et la radicelle se forme de la même manière dans ce péricycle unisérié, avec cette différence que son arc générateur est tout entier situé du même côté d'un faisceau ligneux et que sa déviation est d'environ 45 degrés. Toutes les radicelles y sont donc disposées en quatre séries équidistantes.

Une racine à structure ternaire de *Lonicera confusa* forme de même ses radicelles dans un péricycle simple; mais ici la poche digestive demeure formée d'une seule assise dans toute son étendue.

Une racine de *Sambucus nigra* a, sous l'assise pilifère, une dizaine d'assises corticales, dont l'avant-dernière est dépourvue de cadres d'épaississement et dont la dernière est un endoderme à petites cellules aplaties munies d'étroits plissements. Le cylindre central a quatre faisceaux ligneux et quatre faisceaux libériens alternes autour d'une moelle; le péricycle est

simple en dehors des faisceaux libériens, double en face des faisceaux ligneux. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, comprend en largeur sept à onze cellules. Il accroît radialement et cloisonne ses deux rangs; mais c'est l'assise externe seule qui, par deux cloisonnements tangentiels successifs, sépare en dedans la périphérie du cylindre central avec son initiale, au milieu l'écorce, en dehors l'épiderme (fig. 289). Le rang interne, dont les cellules s'allongent pourtant radialement beaucoup plus que celles de l'assise externe, ne produit que la partie inférieure et interne du cylindre central. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les cloisonne tangentiellement dans sa région médiane, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive, simple à la base, double autour de l'extrémité (fig. 290), plus tard digérée autour de la base et soulevée en forme de bonnet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris sept ou huit cloisons tangentielles au sommet et formé une épaisse calyptre. Son écorce, terminée par une initiale, s'est divisée cinq ou six fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Dans une racine plus épaisse de la même plante, pourvue de dix faisceaux ligneux et libériens autour d'une moelle plus large, le péricycle comptait trois assises en dehors du bois, deux en dehors du liber (fig. 289 et 290). Néanmoins, c'était encore le rang externe de l'arc péricyclique qui seul produisait non seulement l'épiderme et l'écorce, mais encore la périphérie du cylindre central avec son initiale ou sa paire d'initiales; les deux autres assises ensemble ne formaient que la région interne et basilaire du cylindre.

Dans une radicelle de la même plante, enfin, où les faisceaux ligneux et libériens se réduisent à deux, le péricycle est simple tout autour. La radicelle d'ordre supérieur y naît suivant la règle ordinaire, mais elle est latéralement située par rapport à un faisceau ligneux, de manière à faire une déviation d'environ 40 à 45 degrés. Toutes ces radicelles sont donc disposées en quatre rangées presque équidistantes.

Dipsacées (pl. XIX, fig. 293). — La racine terminale du *Dipsacus laciniatus* a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux non confluents et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend huit cellules, sept d'un côté d'un faisceau ligneux, une de l'autre. Ces cellules s'accroissent radialement et se cloisonnent ensuite tangentiellement à deux reprises pour séparer les trois régions (fig. 293). Le mamelon ainsi constitué se dirige dans l'écorce avec une déviation d'environ 40 à 45 degrés et par conséquent toutes les radicelles primaires sont disposées en quatre séries presque équidistantes; aussi la disposition quadrisériée a-t-elle été reconnue dans ce cas par M. Clos. L'arc d'endoderme superposé, comprenant six ou sept cellules, dilate en même temps ses éléments et les divise par des cloisons radiales, enveloppant ainsi le mamelon d'une poche digestive simple dans toute son étendue. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé au sommet quatre calottes de calyptre. Son écorce, terminée par une initiale avec un ou deux segments entiers, s'est divisée trois ou quatre fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Même structure binaire de la racine terminale et même formation des radicelles dans les *Scabiosa succisa*, *Knautia arvensis* et *Cephalaria pilosa*.

Composées (pl. XIX, fig. 294-299).— La racine terminale des Composées offre, suivant les genres, une structure quaternaire: *Helianthus, Bidens, Xanthium, Scorzonera*, etc., ou une structure binaire : *Cichorium, Lactuca, Carduus, Anthemis, Chrysanthemum*, etc. (1). Dans le premier cas, qui est le plus rare, les radicelles sont disposées en quatre séries équidistantes, dont deux correspondent aux cotylédons; elles sont isostiques. Dans le second, qui est le plus fréquent, elles sont

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 242). — *Mémoire sur les canaux sécréteurs des plantes* (*ibid.*, p. 29). — *Second mémoire sur les canaux sécréteurs des plantes* (*ibid.*, p. 6).

disposées en quatre séries plus ou moins rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux et dont aucune ne correspond aux cotylédons ; elles sont diplostiques. Il faut ajouter que les pivots quaternaires deviennent souvent binaires en s'amincissant dans leur région inférieure et qu'alors la première disposition des radicelles fait place à la seconde (*Helianthus*, etc.). La constance de la disposition tétrastique, sous l'une ou l'autre forme, dans la famille des Composées, et d'autre part la différence fondamentale qui existe entre les deux sortes de disposition tétrastique suivant que la racine est quaternaire ou binaire, ont également échappé à M. Clos, qui attribue à ces plantes deux, trois, quatre et même cinq séries de radicelles, suivant les genres et les espèces (*loc. cit.*, p. 27, 1848).

M. Reinke (*loc. cit.*, p. 30, 1871) et plus tard M. de Janczewski (*loc. cit.*, p. 54, 1874) ont étudié la formation des radicelles dans la racine terminale quaternaire de l'*Helianthus annuus*. Nous ne pouvons que confirmer sur ce point la parfaite exactitude des observations de M. de Janczewski. Le cylindre central de cette racine a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux confluents, et quatre faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'accroissent radialement, puis se cloisonnent tangentiellement deux fois de suite pour séparer les trois régions avec l'épistèle. En même temps, l'arc d'endoderme superposé, qui demeure simple tandis que vis-à-vis de chaque faisceau libérien il se dédouble et se creuse de méats oléifères, dilate ses cellules et entoure le mamelon d'une poche digestive d'abord simple, mais bientôt dédoublée par un cloisonnement tangentiel autour de l'extrémité; plus tard, chacune des deux assises divise de nouveau ses cellules extrêmes et la poche est quadruple au sommet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, simple sur les flancs, a pris autour de l'extrémité cinq cloisons tangentielles et découpé sous la poche autant de futures calottes de calyptre. Son écorce, terminée par deux

initiales accompagnées parfois d'un ou deux segments entiers, s'est divisée quatre fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Même structure quaternaire de la racine terminale et même formation des radicelles avec poche endodermique dans les *Bidens pilosa* (fig. 294), *Xanthium macrocarpum*, *Zinnia multifida* et *Hoogeana*, *Scorzonera hispanica*, etc.

La racine terminale du *Callistephus sinensis* a, sous l'assise pilifère, six à huit assises corticales, dont la dernière est un endoderme à grandes cellules, simple vis-à-vis des faisceaux ligneux du cylindre central, dédoublé vis-à-vis des faisceaux libériens dans une largeur de deux à quatre cellules et creusé en ces places d'un à trois méats oléifères. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux unisériés confluents et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend cinq ou six cellules, situées toutes du même côté d'un faisceau ligneux, entre le vaisseau le plus étroit et le bord de l'arc oléifère supralibérien. Ces cellules s'accroissent radialement et se divisent ensuite par deux cloisons tangentielles successives pour séparer les trois régions et l'épistèle (fig. 299). Le mamelon ainsi formé se dirige dans l'écorce avec une déviation de 45 degrés. Toutes les radicelles primaires sont donc disposées en quatre séries équidistantes. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses trois à cinq cellules et forme une poche digestive d'abord simple, mais qui ne tarde pas à se dédoubler par une cloison tangentielle tout autour de l'extrémité; quelquefois même chacune des assises se dédouble de nouveau dans ses cellules extrêmes et la poche est quadruple au sommet. Plus tard elle est digérée circulairement à la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, simple sur les flancs, n'a découpé autour de l'extrémité qu'une seule calotte de calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales, ne s'est divisée aussi qu'une fois vers la base, où commence à se faire le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Dans la racine terminale du *Carduncellus mitissimus*, dont

la structure est également binaire, l'endoderme se dédouble et se creuse de petits méats oléifères dans toute son étendue (fig. 297). Le mamelon radicellaire, formé dans le péricycle avec une déviation de 45 degrés, est donc enveloppé d'une poche digestive double dès le début et creusée de méats oléifères dans son épaisseur. Plus tard l'assise externe est digérée à son tour et l'huile est expulsée; mais en même temps l'assise interne se divise par une cloison tangentielle et la poche demeure double au sommet (fig. 298).

Dans la racine terminale du *Cichorium Intybus*, qui est aussi binaire, l'arc péricyclique rhizogène chevauche sur le faisceau ligneux; de ses six cellules, quatre sont d'un côté, deux de l'autre (fig. 294). Il en résulte que la déviation est plus petite et que les quatre séries de radicelles sont rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. Aussi, dans ce genre et dans tous les cas semblables, M. Clos n'attribue-t-il à la racine que deux rangs de radicelles (*loc. cit.*, p. 27). Lorsque deux radicelles se forment alors au même niveau en correspondance avec le même faisceau ligneux, elles s'unissent en une radicelle double plus grosse, située exactement en face du faisceau ligneux. En outre, la poche endodermique demeure ici simple jusqu'après la sortie.

Même structure binaire de la racine terminale et même formation des radicelles dans plusieurs autres Composées étudiées sous ce rapport, notamment dans les *Crepis nixensis*, *Lactuca angustana*, *Tragopogon floccosum*, *Geropogon glabrum*, *Achyrophorus maculatus*, *Arnoseris pusilla*, *Amberboa moschata*, *Cirsium fimbriatum*, *Atractylis cancellata*, *Tripteris cheiranthifolia*, *Artemisia arborescens*, *Chrysanthemum carinatum*, *Anacyclus tomentosus*, *Madia sativa*, *Galinsoga brachystephana*, *Tagetes patula*, *Spilanthes oleracea*, *Acroclinium roseum*, etc. Ce qui varie, c'est l'épaisseur de la poche endodermique, qui tantôt se dédouble au sommet comme dans les *Callistephus* (*Amberboa*, etc.), tantôt demeure simple dans toute son étendue comme dans les *Cichorium* (*Crepis*, *Galinsoga*, *Tripteris*, etc.). Ce qui varie encore, c'est la grandeur de

la déviation et par suite le degré de rapprochement deux par deux des quatre séries de radicelles.

Une racine latérale de *Solidago virga-aurea* a, dans son cylindre central, un péricycle simple, six faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens alternes, autour d'une large moelle. L'arc péricyclique rhizogène, dont la cloison médiane correspond à un faisceau ligneux, produit comme d'ordinaire les trois régions de la radicelle avec leurs initiales, et le mamelon est entouré d'une poche endodermique simple.

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE DES DICOTYLÉDONES

Au cours de ce premier chapitre, nous avons étudié la formation des radicelles dans la racine terminale, dans une racine latérale ou dans une radicelle antérieure, chez cent cinquante familles de Dicotylédones, c'est-à-dire dans la presque totalité de cette grande classe (1). On accordera donc quelque degré de généralité aux résultats d'ailleurs très simples qui découlent de cette longue série de recherches.

Partout la radicelle se forme tout entière dans le péricycle, aux dépens d'une plage circulaire, qui comprend au moins deux cellules en largeur.

Si le péricycle est simple, les cellules de la plage rhizogène s'accroissent radialement, puis se divisent par une cloison tangentielle en deux assises. Les cellules de l'assise interne constituent le cylindre central. Les cellules de l'assise externe se divisent de nouveau par une cloison tangentielle et donnent, par leur rang interne l'écorce, par leur rang externe l'épiderme. Ce second cloisonnement tangentiel ne porte pas sur toutes les cellules de la plage; il laisse en dehors de lui au moins une cellule tout autour, et il y a à la base une zone

(1) Dans les familles les plus vastes, nous avons examiné plusieurs genres, comme types des principales tribus, et nous avons à diverses reprises étendu notre examen à plusieurs espèces du même genre. Avec un réseau d'observations aussi serré, il y a lieu de croire qu'aucune modification de quelque importance ne nous a échappé.

annulaire qui n'est ni l'épiderme, ni l'écorce : c'est l'épistèle. Les trois régions de la radicelle, ou mieux ses quatre régions, si l'on tient compte de l'épistèle, sont ainsi constituées dès le début.

Les quatre régions s'accroissent ensuite et se cloisonnent comme il a été expliqué en général page 16 et suivantes ; il est inutile d'y revenir. Rappelons seulement que les initiales du cylindre central, de l'écorce et de l'épiderme dérivent de la cellule médiane de l'arc rhizogène, si le nombre de ses éléments est impair, de l'une de ses deux cellules médianes ou plus rarement à la fois de ses deux cellules médianes, si le nombre en est pair. La radicelle proprement dite procède donc le plus souvent d'une seule cellule péricyclique ; quelquefois de deux cellules équivalentes. Toutes les autres cellules de l'arc rhizogène, en nombre variable, ne jouent qu'un rôle accessoire, ne sont que des cellules annexes.

Si le péricycle a deux, trois ou de plus nombreuses assises, presque toujours l'assise externe se comporte exactement comme il vient d'être dit pour l'assise unique quand il est simple, c'est-à-dire donne à elle seule toute la radicelle proprement dite ; l'assise interne, ou les assises internes quand il y en a plus de deux, s'accroissent aussi et se cloisonnent, mais contribuent seulement à produire la région inférieure de la radicelle. Les exceptions à cette règle sont très rares et accidentelles. L'une des plus intéressantes est offerte par la racine terminale des Cannabinées (*Cannabis*, *Humulus*). L'assise externe du péricycle n'y produit que l'épiderme de la radicelle ; c'est la seconde assise qui en donne à la fois l'écorce et le cylindre central. Dans les radicelles primaires et d'ordre plus élevé de ces mêmes plantes, le péricycle est simple et tout redevient normal.

Quand la racine a plus de deux faisceaux ligneux et libériens, les radicelles sont situées en face des faisceaux ligneux ; leur disposition est isostique. Quand elle a seulement deux faisceaux ligneux et libériens, cas très fréquent, comme on l'a vu, chez les Dicotylédones, les radicelles font avec les fais-

ceaux ligneux une déviation plus ou moins grande; leur disposition est diplostique. Cette disposition diplostique peut s'introduire déjà dans les racines à structure ternaire. Trois familles seulement font exception à cette règle de position : les Ombellifères, les Araliées et les Pittosporées. Le péricycle y étant consacré à la formation de l'huile essentielle en face des faisceaux ligneux, la disposition isostique n'y est pas possible et c'est la règle diplostique qui gouverne tous les cas.

Une fois formée et disposée dans le péricycle comme il vient d'être dit, la radicelle grandit et, en s'accroissant, elle attaque et digère l'écorce de la racine mère, pour se nourrir de sa substance; en même temps elle se fraie un chemin vers l'extérieur. C'est dans ce phénomène de croissance interne et de digestion qu'on observe, d'une famille à l'autre, d'un genre à l'autre dans la même famille et parfois d'une espèce à l'autre dans le même genre, les différences les plus marquées.

Quelquefois l'endoderme est digéré comme le reste de l'écorce et tout d'abord : c'est le cas le plus simple ; la radicelle est nue et sa coiffe, au moment de la sortie, se réduit à sa calyptre (Crucifères, beaucoup de Capparidées, de Papavéracées, de Fumariacées, de Résédacées, de Caryophyllées, Crassulacées, Portulacées, Illécébrées, beaucoup de Chénopodiacées, d'Amarantacées, d'Aizoacées, Basellées, Cactées, Bégoniées).

Le plus souvent, au contraire, l'endoderme s'accroît et enveloppe la radicelle d'une poche, qui attaque et digère l'écorce. Cette poche digestive est simple dans toute son étendue, ou simple sur les flancs et dédoublée une ou plusieurs fois, de dehors en dedans, autour de l'extrémité, ou double dans toute son étendue, ou enfin double à la base et s'épaississant davantage au sommet par de nouveaux cloisonnements centripètes. Avant la sortie, elle est quelquefois digérée sur les flancs et ne persiste qu'au sommet en forme de bonnet; ou bien elle n'est digérée qu'à la base et circulairement ; ou bien sans être digérée en aucun point, elle se détache par glissement d'avec sa zone inférieure, qui reste incorporée à l'épi-

stèle. Dans tous les cas, elle est entraînée par la radicelle et, à la sortie, la portion caduque de la radicelle, c'est-à-dire sa coiffe, se compose de cette poche endodermique plus ou moins épaisse et de la calyptre. Enfin, quelquefois une, deux ou un plus grand nombre des assises corticales internes échappent à la digestion et se joignent à l'endoderme pour entourer la radicelle d'une poche plus épaisse que d'ordinaire (diverses Sterculiacées, Légumineuses, Rosacées, Cucurbitacées, etc.).

Après la sortie de la radicelle et la chute de la poche, l'assise externe de l'épiderme composé se détache en laissant adhérent à l'écorce le manchon inférieur d'épiderme simple; elle forme ainsi la première calotte de la calyptre; plus tard, la seconde assise se détache de même, en laissant adhérente à l'écorce, dans la zone qui sépare son bord de celui de la première, l'assise interne de l'épiderme dédoublé, mise à nu par la chute de la première calotte; elle constitue de la sorte la seconde calotte de la calyptre. Les autres assises se détachent ensuite de la même manière et les diverses calottes de la calyptre s'exfolient ainsi, à mesure qu'il se forme de nouvelles assises à l'intérieur par le cloisonnement tangentiel des initiales de l'épiderme. C'est l'assise à gradins formée par l'ajustement bout à bout de ces zones annulaires de plus en plus profondes, dont l'inférieure seule est formée par l'épiderme tout entier, qui, une fois mise à nu, devient l'assise pilifère. L'assise pilifère est donc l'assise la plus interne de l'épiderme composé; elle n'est pas l'épiderme tout entier, excepté dans son manchon inférieur situé dans l'intérieur de la racine mère; mais elle est pourtant de nature épidermique.

Seules, les Nymphéacées font exception à cette règle. La chute de la première assise de l'épiderme composé y entraîne celle du manchon inférieur d'épiderme simple; la chute de la seconde assise entraîne de même celle de la zone formée par l'assise interne de l'épiderme dédoublé, et ainsi de suite. De l'épiderme rien ne subsiste donc à la surface de la racine, dont l'écorce est mise à nu. C'est alors l'assise externe de

l'écorce, ou l'exoderme, qui devient l'assise pilifère. En un mot, les Nymphéacées sont liorhizes, tandis que toutes les autres Dicotylédones sont climacorhizes.

CHAPITRE II

RADICELLES DES MONOCOTYLÉDONES

L'origine des radicelles des Monocotylédones a été étudiée d'abord par MM. Nägeli et Leitgeb en 1868, chez le *Pontederia crassipes* et l'*Oryza sativa* (1), puis par M. Reinke, en 1871, dans le *Pistia Stratiotes* (2), enfin par M. de Janczewski, en 1874, chez les *Pistia Stratiotes*, *Alisma Plantago*, *Sagittaria sagittifolia* et *Zea Mays* (3). On n'avait donc examiné sous ce rapport que six genres, représentant seulement quatre familles. L'étude de ces quelques exemples conduisait à distinguer chez les Monocotylédones trois types de formation des radicelles. Dans le premier, la radicelle procède tout entière du péricycle de la racine mère; l'endoderme de la racine mère contribue seulement à former la coiffe de la radicelle (*Zea*, *Oryza*, *Sagittaria*, *Alisma*). Dans le second, l'endoderme de la racine mère forme toute la coiffe de la radicelle (*Pontederia*). Dans le troisième, il produit non seulement la coiffe, mais encore l'épiderme de la radicelle (*Pistia*).

En reprenant l'étude des plantes observées par les auteurs précédents, et surtout en étendant nos recherches à un grand nombre d'autres genres, pris dans toutes les familles importantes de la classe, nous sommes arrivés à nous convaincre qu'il n'y a en réalité chez les Monocotylédones qu'un seul type de formation pour les radicelles, et que ce type est le même que pour les Dicotylédones.

La radicelle y procède, en effet, toujours tout entière du péricycle de la racine mère, et de la même manière que chez

(1) Nägeli, *Beiträge*, IV, p. 138, 1868.
(2) Reinke, *loc. cit.*, p. 43, 1871.
(3) E. de Janczewski, *loc. cit.*, p. 43, 1874.

les Dicotylédones. Seulement elle offre, suivant les plantes, diverses modifications secondaires. Certaines de ces modifications ont été déjà rencontrées chez les Dicotylédones, tandis que d'autres se montrent ici pour la première fois. Par contre, plusieurs de celles que l'on a observées dans la première classe ne se manifestent pas dans la seconde. Ainsi, par exemple, la poche digestive, qui faisait défaut chez un certain nombre de familles de Dicotylédones, a été rencontrée, à une ou deux exceptions près, chez toutes les Monocotylédones étudiées jusqu'à présent. Nous n'avons donc pas à introduire ici, sous ce rapport, la subdivision qui nous a été utile chez les Dicotylédones, et nous allons étudier directement les principales familles de cette classe, en considérant successivement les quatre ordres où elles se groupent, savoir : les Graminidées, les Joncinées, les Liliinées et les Iridinées (1).

Ce chapitre de notre mémoire était rédigé lorsque nous avons eu connaissance d'un travail de M. Borzi sur la formation des radicelles des Monocotylédones. Trois parties de ce mémoire (ensemble 62 pages) ont paru dans le cours du premier semestre de cette année (2); la dernière partie, ainsi que les planches indispensables à l'intelligence du texte tout entier, ne sont pas encore publiées au moment où nous mettons sous presse (15 octobre 1888). Autant qu'on en peut juger dans cet état de publication incomplète, M. Borzi suit, en la développant dans le même sens, la manière de voir de M. de Janczewski. Il distingue, en effet, quatre types de formation des radicelles. Dans le premier, la radicelle a au sommet quatre sortes d'initiales pour le cylindre central, l'écorce, l'épiderme et la coiffe (*Stratiotes aloides* (3), *Pontederia cordata*, *Potamogeton*

(1) Comme pour les Dicotylédones, nous disposerons les familles suivant l'ordre adopté dans le *Traité de botanique* publié par l'un de nous.

(2) Borzi, *Formazione delle radici laterale nelle Monocotiledoni* (*Malpighia*, I, fasc. VIII-IX, p. 391-413; I, fasc. XII, p. 541-550; II, fasc. II-III, p. 53-85).

(3) M. Borzi paraît n'avoir étudié ni le *Pistia Stratiotes*, ni le *Stratiotes aloides;* car il confond ces deux plantes, pourtant si différentes, la première une Aroïdée, la seconde une Hydrocharidée (p. 403 et aussi p. 412).

natans). Dans le second, la radicelle a trois sortes d'initiales pour le cylindre central, l'écorce et la coiffe (*Elegia deusta*, *Scirpus lacustris*, *Cyperus Papyrus*, *Carex serrulata*, *distans*, *Agrostis alba*, *Arundinaria japonica*, *Coïx Lacryma*, *Cenchrus spinifex*, *Potamogeton crispus*, *Triglochin Barrelieri*, *Sagittaria chinensis*, *Butomus umbellatus*). Dans le troisième, la radicelle n'a que deux sortes d'initiales, les unes pour le cylindre central, les autres pour l'écorce et la coiffe (*Richardia africana* et autres Aroïdées). Dans le quatrième enfin, la radicelle n'a qu'une seule sorte d'initiales communes au cylindre central, à l'écorce et à la coiffe (*Sparaxis versicolor*, *Ferraria undulata*, *Gladiolus cardinalis*, *Iris germanica*, *Lilium candidum*). On voit combien ce résultat diffère de celui que nos recherches ont établi. Il suffit ici d'avoir constaté cette dissidence fondamentale. C'est plus loin seulement, à la suite de chacun des exemples particuliers étudiés en commun par M. Borzi et par nous, que nous pourrons utilement comparer nos observations aux siennes.

I. — GRAMINIDÉES.

Graminées (pl. XX, fig. 300-305). — Comme il a été dit plus haut, la formation des radicelles a été étudiée chez les Graminées par MM. Nägeli et Leitgeb dans l'*Oryza sativa*, et par M. de Janczewski dans le *Zea Mays*. Reprenons d'abord l'étude de ces deux plantes, afin d'établir la concordance de nos résultats avec ceux des botanistes précédents.

La racine terminale du *Zea Mays* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse à parois latérales plissées et onze autres assises corticales, dont l'interne est un endoderme à petites cellules aplaties (1). Le cylindre central renferme, dans la

(1) Pour la structure de la racine et la disposition des radicelles chez les Graminées, voy. Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 5ᵉ série, XIII, p. 142, 1871). — Russow, *Betrachtungen....*, Dorpat, 1875, p. 54. — Duval-Jouve, *Étude histotaxique des Cyperus de France* (*Mém. de l'Acad. des sc. de Montpellier*, VIII, 1871, et *Bull. de la Soc. bot.*, XXI,

plante étudiée, seize faisceaux ligneux unisériés et autant de faisceaux libériens alternes, rangés autour d'une moelle qui contient à sa périphérie sept gros vaisseaux en cercle et qui se sclérifie plus tard. En face des faisceaux libériens, le péricycle est simple et normal; en dehors des faisceaux ligneux, tantôt il est complètement interrompu, le vaisseau externe étant en contact direct avec l'endoderme, tantôt il est seulement aminci, le vaisseau externe étant séparé de l'endoderme par une ou deux cellules plus petites que les autres, tantôt enfin il ne s'interrompt ni ne s'amincit, et passe en conservant ses caractères normaux entre le vaisseau externe et l'endoderme, ces trois manières d'être se rencontrant en proportions diverses dans une même section transversale.

Là où le péricycle est interrompu ou aminci, l'arc rhizogène se compose de toutes les cellules, au nombre de six à dix, comprises entre deux interruptions ou deux amincissements; son milieu correspond donc à un faisceau libérien. Là où le péricycle est normal, ce qui est plus rare, l'arc rhizogène pose au contraire, conformément à la règle, son milieu sur un faisceau ligneux. Dans tous les cas, ses cellules, au nombre de huit, par exemple, s'accroissent radialement, les médianes plus que les latérales, puis se divisent par une cloison tangentielle; le rang interne constitue le cylindre central de la radicelle, dont les deux médianes sont les initiales. Un peu plus tard, le rang externe se divise à son tour par une cloison tangentielle, mais cette cloison est plane ou même un peu convexe vers le bas, et n'intéresse que les quatre cellules médianes de l'arc. Les quatre cellules externes ainsi découpées, les deux médianes rectangulaires et les deux latérales triangulaires, constituent l'épiderme de la radicelle, dont les deux médianes sont les initiales; les quatre internes en constituent l'écorce, dont les deux médianes sont les initiales. Quant

p. 114, 1874). — Klinge, *Vergleichend histiologische Untersuchung der Gramineen und Cyperaceen-wurzeln* (*Mémoires de l'Acad. des sciences de Saint-Pétersbourg*, XXVI, 1879). — Ph. Van Tieghem, *Journal de botanique*, 1er décembre 1887.

aux deux cellules du rang externe demeurées de chaque côté en dehors de la cloison plane, elles constituent autour de la base du cylindre central un anneau neutre, où l'écorce et l'épiderme ne sont pas individualisés, c'est-à-dire une épistèle, comme chez les Dicotylédones (fig. 300).

L'arc d'endoderme superposé suit, en dilatant ses cellules et les divisant par des cloisons radiales, la croissance du mamelon radicellaire ainsi constitué. Il forme autour de la radicelle une poche, qui digère d'abord l'avant-dernière assise corticale, puis progressivement toutes les autres de dedans en dehors. Cette poche digestive est d'abord simple et demeure telle sur les flancs, jusqu'au niveau où se sépare l'épiderme, c'est-à-dire dans toute la longueur de l'épistèle; mais autour du sommet, là où elle recouvre l'épiderme, elle se dédouble par une cloison tangentielle (fig. 301); puis l'assise interne se dédouble de nouveau; elle est donc triple au sommet. Plus tard, ce bonnet terminal dédoublé, refoulé par la croissance en épaisseur de la radicelle, se détache par glissement d'avec le manchon latéral simple, lequel demeure incorporé à la radicelle. Entre le bord supérieur du manchon et la ligne de séparation de l'épiderme, l'épistèle mise à nu s'épaissit et place dans le prolongement du manchon les cellules de son assise périphérique, agrandies et divisées par de nombreuses cloisons transversales, et devenues ainsi prismatiques.

Un peu avant la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris trois cloisons tangentielles centripètes et découpé trois calottes de calyptre; le tout forme au sommet une sorte de couvercle plan convexe, enchâssé dans la concavité du bonnet digestif détaché et composant avec lui une coiffe courte et épaisse de sept assises cellulaires. Les cellules corticales externes sur lesquelles s'appuie le bord en biseau de ce couvercle ont, en s'accroissant et en s'arrondissant, repoussé et détaché ce bord, qui est libre désormais, comme le bord du bonnet. Plus tard, après la sortie et l'exfoliation du bonnet, la première calotte de calyptre entraînera ce bord libre dans sa chute. La seconde

calotte fera de même du bord nouveau, et ainsi de suite, de sorte qu'aucune portion de l'épiderme ne demeurera adhérente à la surface de la radicelle, ce qui est, comme on sait, un caractère général chez les Monocotylédones.

L'écorce de la radicelle, terminée par deux initiales, qui ne sont autre chose que les cellules médianes de l'assise corticale primitive, se divise rapidement en sens centripète et a déjà quatre assises très près du sommet, ce qui rend l'extrémité concave. L'assise externe, ou exoderme, agrandit beaucoup ses cellules, les divise par de nombreuses cloisons radiales en leur donnant une forme prismatique, et devient l'assise pilifère après la chute de l'épiderme qui la recouvre; elle se raccorde et se continue vers le bas avec l'assise périphérique de l'épistèle, laquelle à son tour prolonge, comme on l'a vu, le manchon incorporé de la poche digestive. L'assise continue ainsi formée a donc trois origines différentes : elle est endodermique à la base; elle appartient à l'épistèle un peu plus haut; elle est sous-épidermique dans le reste de son étendue. Tout en bas, l'endoderme de la radicelle se raccorde avec celui de la racine mère par l'intermédiaire des cellules triplissées.

Le cylindre central de la radicelle, enfin, se termine par deux initiales, terminaisons des deux cellules médianes de l'assise inférieure de l'arc rhizogène. Quand le nombre des cellules de l'arc rhizogène est impair, sept par exemple (fig. 300), il n'y a qu'une initiale pour le cylindre central, une pour l'écorce, une pour l'épiderme.

Toutes ces observations s'accordent avec celles de M. de Janczewski, à une seule près, qui est de peu d'importance : le manchon endodermique incorporé aux flancs de la radicelle nous a paru demeurer simple. M. de Janczewski le décrit comme se dédoublant par des cloisons tangentielles et se composant finalement de trois ou quatre assises.

Dans la racine terminale de l'*Oryza sativa*, qui compte huit à dix faisceaux ligneux et libériens, les radicelles naissent en face des faisceaux libériens, par suite de l'interruption du péri-

cycle vis-à-vis des faisceaux ligneux. L'arc rhizogène, formé de trois ou quatre cellules, les accroît radialement et les divise tangentiellement deux fois de suite; la première cloison, concave vers l'intérieur, intéresse toutes les cellules et sépare le cylindre central; la seconde, plane, n'intéresse que le sommet de la cellule médiane ou des deux médianes de l'arc et sépare en dedans les initiales de l'écorce, en dehors celles de l'épiderme. L'endoderme dilate ses cellules et forme autour de la radicelle une poche digestive, simple sur les flancs où elle est incorporée, double au sommet où elle est détachée en forme de bonnet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé deux ou trois calottes de calyptre et forme au sommet une lentille plan convexe, qui remplit la concavité du bonnet; le tout constitue la coiffe. L'écorce, terminée par une ou deux initiales, s'est divisée bientôt plusieurs fois très près du sommet, qui devient concave; son assise externe se continue vers le bas d'abord avec les cellules périphériques de l'épistèle, puis avec le manchon incorporé, de manière à simuler une seule et même assise continue; à la base s'opère le raccord des endodermes. Le cylindre central enfin se termine aussi par une ou deux initiales.

La première cloison tangentielle qui, dans l'*Oryza sativa*, sépare vers le bas le cylindre central avec son inititiale propre, bien avant que la cloison plane vienne séparer l'initiale de l'écorce de celle de l'épiderme, a échappé à MM. Nägeli et Leitgeb. Sauf ce point, qui a son importance, nos observations s'accordent avec les leurs.

Les choses se passent de la même manière dans le *Triticum sativum*, l'*Avena Ludoviciana*, l'*Eleusine Coracana*, le *Glyceria spectabilis*.

Dans le *Saccharum officinarum*, le péricycle est continu tout autour du cylindre central, mais ses cellules sont plus petites en face des faisceaux ligneux, plus grandes en face des faisceaux libériens; souvent même ces derniers sont séparés de l'endoderme par deux assises péricycliques (fig. 302). L'arc rhizogène appuie son milieu contre un faisceau libérien,

mais ses bords dépassent de chaque côté les faisceaux ligneux voisins; il comprend, par exemple, huit cellules, alors qu'il n'y en a que quatre entre les deux vaisseaux externes. Ces cellules s'allongent radialement et se divisent tangentiellement deux fois, pour former d'abord le cylindre central, plus tard, et au sommet seulement, l'épiderme et l'écorce. Si, comme il arrive souvent, l'arc rhizogène a deux assises cellulaires au milieu, c'est le rang externe qui s'accroît le plus et qui prend seul les deux cloisons tangentielles; l'autre ne produit que la base du cylindre central (fig. 302).

L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules et les cloisonne radialement, pour envelopper la radicelle d'une poche digestive simple, plus tard dédoublée par une cloison tangentielle au voisinage du sommet (fig. 303). En s'épaississant transversalement, l'épistèle refoule bientôt la partie supérieure de la poche et la détache du manchon inférieur incorporé, dans le prolongement duquel elle place son assise périphérique (fig. 304). Un peu plus tard, l'écorce, en s'épaississant à son tour, refoule et détache de même le bord de l'épiderme, de manière à placer son assise externe en continuité avec l'assise périphérique de l'épistèle et avec le manchon endodermique incorporé. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris trois ou quatre cloisons tangentielles et forme au sommet une petite lentille plan convexe, enchâssée dans le bonnet dédoublé de la poche digestive. Son écorce, terminée par une ou deux initiales, se divise trois fois très près du sommet, qui est plan, et son assise externe décolle le bord de l'épiderme, comme il a été dit plus haut. L'épistèle s'est également divisée trois fois et à sa base s'établit le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Dans l'*Elymus arenarius* (fig. 305), l'endoderme est composé de grandes cellules allongées radialement. Le péricycle est continu tout autour, mais est formé de grandes cellules en face des faisceaux libériens, de cellules beaucoup plus petites et souvent disposées en deux assises en face des faisceaux ligneux. L'arc rhizogène comprend toutes les grandes

cellules, au nombre de quatre, par exemple, situées entre deux amincissements, et son milieu s'appuie sur un faisceau libérien ; souvent il s'annexe aussi les petites cellules situées en dehors des faisceaux ligneux et chevauche ainsi sur ces derniers. Ces cellules s'accroissent radialement et se cloisonnent d'abord tangentiellement deux fois, comme dans les plantes précédentes, pour séparer en bas le cylindre central, en haut, et au sommet seulement, l'épiderme et l'écorce.

En même temps, les grandes cellules de l'endoderme superposées à l'arc rhizogène prennent toutes une ou même deux cloisons tangentielles, puis se dilatent et se divisent radialement, de manière à envelopper la radicelle d'une poche digestive double ou triple dans toute son étendue (fig. 305). Plus tard, de nouvelles cloisons tangentielles se font autour de l'extrémité; la poche s'y épaissit beaucoup et acquiert sept ou huit assises de cellules, alors que l'épiderme sous-jacent est encore simple. Ensuite l'épistèle, en s'accroissant transversalement, sépare cette extrémité épaissie, qui est plan convexe, d'avec le manchon latéral dont les deux ou trois assises demeurent incorporées à la radicelle. Plus tard encore, l'épiderme s'épaissit à son tour, se cloisonne tangentiellement, détache son bord et forme une petite lentille enchâssée dans l'épais bonnet de la poche digestive, avec lequel il constitue la coiffe au moment de la sortie.

La radicelle des Graminées se forme donc tout entière dans le péricycle, comme chez les Dicotylédones, avec cette seule différence, déjà rencontrée parmi les Dicotylédones chez les Nymphéacées, que la cloison qui sépare l'écorce et l'épiderme est presque plane et n'intéresse que les cellules centrales de l'arc rhizogène, c'est-à-dire les vraies initiales de la radicelle; l'épistèle est donc plus développée et l'épiderme n'est distinct de l'écorce qu'au sommet, où il s'en détache de bonne heure tout autour. Mais cette différence, intéressante au point de vue du développement et de la constitution définitive de la radicelle, est sans importance au point de vue de son origine. En outre, la radicelle est enveloppée, comme chez la plupart

des Dicotylédones, d'une poche digestive d'origine endodermique, toujours incorporée à la base, mais plus ou moins épaisse suivant les genres (1).

Cypéracées (pl. XX, fig. 306-310).—Une racine latérale de *Scirpus lacustris* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse dédoublée et dix assises corticales à cellules disposées en séries radiales, dont la dernière est un endoderme à membranes très minces, munies de plissements courts au tiers des parois radiales à partir de l'intérieur. Le cylindre central a six faisceaux ligneux, réduits chacun à un seul vaisseau spiroannelé assez large, appuyé contre l'endoderme, et six faisceaux libériens alternes composés d'un paquet arrondi de cinq à sept tubes criblés, séparés de l'endoderme par un péricycle simple; au centre est un large vaisseau axile. En différenciant les faisceaux ligneux dans son épaisseur même, le péricycle s'est donc réduit à une série d'arcs supralibériens.

La radicelle prend pour se former toutes les cellules d'un de ces arcs, au nombre de trois à cinq; son milieu correspond donc à un faisceau libérien (2). Ces cellules s'allongent radialement, puis se divisent par une cloison tangentielle; le rang interne constitue le cylindre central, dont la cellule médiane

(1) Comme il a été dit plus haut, M. Borzi a étudié la formation des radicelles dans plusieurs Graminées (*Agrostis, Arundinaria, Bambusa, Coix, Cenchrus*) (*Malpighia*, II, p. 57, 1888). Mais c'est seulement dans l'*Agrostis alba* qu'il indique la séparation des régions dans l'aire rhizogène péricyclique. Encore cette indication est-elle fort incomplète, puisqu'il passe sous silence la première cloison tangentielle qui dégage le cylindre central en dedans. Il a bien vu que les cellules périphériques de l'aire donnent ce qu'il appelle « une écorce revêtue de dermatogène », c'est-à-dire ce que nous nommons l'épistèle, tandis que la cellule centrale seule prend la cloison tangentielle qui sépare en dedans ce qu'il appelle encore « l'écorce », comme nous, en dehors ce qu'il appelle « la coiffe », c'est-à-dire ce qui pour nous est l'épiderme. Il a bien vu aussi que l'endoderme de la racine mère forme autour de la radicelle ce qu'il appelle « une gaine protectrice », c'est-à-dire ce qui pour nous est une poche digestive. En somme, les observations de M. Borzi n'ont rien de contraire aux nôtres; elles sont seulement moins complètes.

(2) Pour la structure de la racine et la position des radicelles des Cypéracées, voy. les mémoires cités à propos des Graminées, p. 276, en note.

forme l'initiale. Le rang externe se divise un peu plus tard par une nouvelle cloison tangentielle, n'intéressant que le sommet des deux cellules médianes et par suite faiblement concave vers l'intérieur, qui sépare l'épiderme en dehors, l'écorce en dedans (fig. 306). Les cellules latérales, non intéressées par cette seconde cloison, constituent l'épistèle autour de la base du cylindre central. En même temps, les cellules endodermiques superposées, au nombre de quatre ordinairement, se dilatent, se cloisonnent radialement et entourent la radicelle d'une poche d'abord simple, qui s'épaissit bientôt et se dédouble par une cloison tangentielle autour de l'extrémité (fig. 307). C'est cette poche qui digère progressivement toutes les assises corticales; elle agit d'abord au contact, puis à distance, car il y a d'ordinaire un espace vide entre son extrémité et la région non attaquée.

Plus tard, l'épaississement transversal de l'épistèle au-dessous de la séparation de l'épiderme isole la partie supérieure double de la poche, qui est entraînée en forme de bonnet, d'avec le manchon latéral simple, qui est incorporé aux flancs de la radicelle tout le long de l'épistèle. En même temps, l'épiderme s'épaissit et prend une cloison tangentielle, qui découpe la première calotte de calyptre; puis son bord se détache de la dernière cellule de l'épistèle et le tout forme désormais une sorte de couvercle enchâssé dans la concavité du bonnet endodermique. Enfin l'assise corticale externe, l'assise périphérique de l'épistèle et le manchon endodermique incorporé s'établissent en continuité, de manière à simuler une seule et même assise.

A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris trois cloisons tangentielles et formé sous la poche une épaisse calyptre; son écorce, terminée par une ou deux initiales, s'est divisée successivement trois fois assez près du sommet, qui est pourtant plus convexe, moins aplati que chez les Graminées; tout en bas s'opère, à travers l'épistèle et par l'intermédiaire des cellules triplissées, le raccord des endodermes. Le cylindre central se termine aussi par une seule initiale.

Une racine latérale de *Cyperus alternifolius* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse dédoublée et dix assises en séries radiales, dont la dernière est un endoderme à parois très minces; dans certaines de ces séries radiales, les cellules s'isolent plus tard et se rabattent en autant de lanières tendues tangentiellement d'une série persistante à l'autre, à travers les grandes lacunes ainsi formées. Le cylindre central a onze faisceaux ligneux, sept formés d'un vaisseau assez étroit appuyé contre l'endoderme et quatre formés d'un vaisseau plus large séparé de l'endoderme par deux rangs de petites cellules péricycliques, ces derniers alternant avec les premiers; il a onze faisceaux libériens alternes, composés de trois tubes criblés étroits en dehors et d'un plus large en dedans, séparés de l'endoderme par un rang de cellules péricycliques; enfin le centre est occupé par un large vaisseau axile, accompagné de deux vaisseaux de moyenne largeur, diamétralement opposés.

La radicelle naît tantôt dans l'intervalle de deux faisceaux ligneux voisins qui touchent l'endoderme, aux dépens de toutes les cellules péricycliques de l'arc supralibérien, au nombre de quatre ordinairement (fig. 308), tantôt en face d'un faisceau ligneux ne touchant pas l'endoderme, aux dépens des cellules médianes de l'arc péricyclique qui sépare les deux faisceaux ligneux voisins en contact avec l'endoderme (fig. 310). Des deux rangs cellulaires situés dans ce dernier cas en dehors du vaisseau médian, c'est l'externe qui s'accroît le plus et qui donne seul les trois sortes d'initiales de la radicelle; l'autre ne forme que la base du cylindre central. Les cellules péricycliques s'allongent radialement et se divisent successivement par deux cloisons tangentielles, dont l'interne intéresse toutes les cellules et sépare le cylindre central, tandis que l'externe n'intéresse que les deux cellules médianes et sépare au sommet l'écorce en dedans, l'épiderme en dehors (fig. 308).

L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules, les cloisonne radialement et entoure la radicelle d'une poche digestive simple, qui ne se divise que plus tard et seulement au sommet même par une cloison tangentielle (fig. 309).

A la sortie, cette poche a son bonnet terminal détaché par l'épaississement de l'épistèle et son manchon latéral est incorporé. A ce moment, l'épiderme de la radicelle, dont le bord a été détaché par l'épaississement de l'écorce, a pris deux ou trois cloisons tangentielles et forme un couvercle plan convexe niché dans la concavité du bonnet. Son écorce, terminée par une ou deux initiales, s'est divisée deux fois près du sommet, ce qui en rend plane la surface terminale; l'assise corticale externe décolle le bord de l'épiderme et s'établit en continuité d'abord avec l'assise périphérique de l'épistèle, plus bas avec le manchon endodermique incorporé. Tout à fait à la base s'opère, à travers l'épistèle, le raccord des endodermes.

La racine latérale du *Killingia monocephala* a également dix faisceaux ligneux univasculaires, dont huit touchent l'endoderme et deux en sont séparés par une assise péricyclique; au centre est un large vaisseau axile. La radicelle naît le plus souvent dans un arc péricyclique supralibérien, quelquefois dans un des deux arcs supraligneux. Elle se forme et se développe comme dans les exemples précédents, avec poche digestive détachée autour de l'extrémité, incorporée à la base.

Une racine latérale d'*Eriophorum latifolium* a sous l'assise pilifère une zone corticale externe formée de trois rangs de cellules superposées à développement centrifuge, et une zone corticale interne formée de dix rangs de cellules superposées à développement centripète, dont la dernière est un endoderme à parois minces. Le cylindre central a dix faisceaux ligneux univasculaires, tous en contact avec l'endoderme, dix faisceaux libériens alternes, séparés de l'endoderme par un péricycle simple, et cinq larges vaisseaux plus internes, disposés en cercle autour d'une moelle. La radicelle se forme dans tout l'arc péricyclique supralibérien, qui comprend ordinairement trois, quelquefois deux ou quatre cellules, et de la même manière que chez les plantes précédentes. L'endoderme se comporte aussi de la même manière, et entoure la radicelle d'une poche digestive à bonnet détaché, à manchon incorporé.

Une racine latérale de *Carex arenaria* a, sous l'assise pilifère et l'assise subéreuse, une zone corticale externe de cellules étroites et une zone corticale interne de cellules larges en séries radiales, dont la dernière est un endoderme à membranes fortement épaissies sur la face interne. Le cylindre central a dix-huit faisceaux ligneux univasculaires, tous en contact avec l'endoderme, autant de faisceaux libériens séparés de l'endoderme par un péricycle simple, et huit vaisseaux plus larges et plus internes disposés en cercle autour d'une moelle scléreuse. La radicelle se forme aux dépens des cellules de l'arc péricyclique supralibérien, comme il a été dit plus haut. L'endoderme fait de même autour d'elle une poche digestive détachée autour du sommet où elle est double, incorporée à la base où elle est simple.

Enfin, la racine terminale du *Fimbristylis Hahniana* se comporte comme les racines latérales dont il vient d'être question. Elle produit ses radicelles dans les arcs péricycliques supralibériens, et les enveloppe d'une poche endodermique, simple latéralement, double au sommet.

Les radicelles des Cypéracées naissent donc et se développent, dans tous les traits essentiels, comme celles des Graminées (1).

Naïadacées (pl. XX, fig. 311-312). — Une racine latérale de *Potamogeton natans* a, sous l'assise pilifère, sept assises de cellules corticales disposées en séries radiales; la dernière est un endoderme dont les cellules épaississent leurs parois vis-à-vis des faisceaux libériens et les conservent minces en dehors des faisceaux ligneux. Le cylindre central a un péricycle simple,

(1) M. Borzi a étudié la formation des radicelles de plusieurs Cypéracées (*Scirpus lacustris, Cyperus Papyrus, Carex serrulata* et *distans*) (*Malpighia*, I, fasc. XII, p. 546, 1888 et II, fasc. III-IV, p. 53, 1888). Dans tous les points essentiels, ses observations sont conformes aux nôtres; elles sont seulement moins complètes à divers égards et un peu autrement interprétées. La véritable nature de l'épistèle lui a échappé; il ne dit rien du mode de séparation de la poche digestive, qui pour lui est une gaine protectrice. Ce qu'il appelle la « coiffe » est ce que nous nommons l'épiderme.

quatre faisceaux ligneux formés chacun d'un seul vaisseau, quatre faisceaux libériens réduits chacun à un seul tube criblé, et une petite moelle dont le centre est occupé par un large vaisseau axile (fig. 312).

L'arc péricyclique rhizogène comprend ordinairement trois cellules, la médiane située en face d'un vaisseau. Ces cellules s'accroissent radialement et se cloisonnent tangentiellement pour séparer en dedans le cylindre central; puis la cellule médiane prend une nouvelle cloison tangentielle en dehors de la première et isole ainsi l'initiale de l'épiderme en dehors, celle de l'écorce en dedans. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les cloisonne radialement, de manière à envelopper le manchon d'une poche digestive simple, et qui demeure telle jusqu'à la fin. Avant la sortie, elle se détruit au-dessus de la base, où elle est digérée par la croissance transversale de la radicelle (fig. 312). A la sortie même, sous la poche en forme de bonnet, l'épiderme de la radicelle a pris au sommet huit ou dix cloisons tangentielles et forme une calyptre épaisse. Son écorce, terminée par une initiale parfois accompagnée d'un segment entier, s'est divisée six à huit fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Une racine latérale d'*Aponogeton distachyum* a, sous l'assise pilifère, une double assise subéreuse et onze assises corticales à cellules disposées en séries radiales, séparées par des lacunes aérifères dans la région externe; la dernière est un endoderme à plissements assez larges. Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, trois faisceaux ligneux formés chacun d'un ou deux vaisseaux étroits appuyés contre un large vaisseau axile, et trois faisceaux libériens réduits chacun à un seul large tube criblé (fig. 311). L'arc péricyclique rhizogène comprend trois cellules, la médiane en face d'un vaisseau, et ses cellules se divisent tangentiellement deux fois, comme il vient d'être dit, pour séparer les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. L'arc d'endoderme superposé suit la croissance du mamelon, qu'il enveloppe d'une poche digestive

simple. Plus tard, cette poche est largement digérée à la base par l'épaississement transversal de l'épistèle; celle-ci forme un bourrelet qui attaque alors directement l'écorce de la racine mère. En même temps, la poche prend autour du sommet une cloison transversale et y devient double (fig. 311).

A la sortie, l'épiderme de la radicelle a acquis sous la poche huit à dix cloisons tangentielles et formé une épaisse calyptre. Son écorce, terminée par une grande initiale accompagnée souvent de chaque côté par un segment indivis, s'est cloisonnée six ou huit fois à la base. L'épistèle, fortement épaissie en son milieu, où elle a digéré la poche, s'amincit brusquement à la base, où il se réduit à une seule rangée de cellules, le long de laquelle la poche est incorporée. A travers l'épistèle s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées (1).

Aroïdées (pl. XX, fig. 313-317 et pl. XXI, fig. 318). — La racine latérale du *Tornelia fragrans* a, sous l'assise pilifère, une écorce épaisse d'une trentaine d'assises, contenant des poils scléreux dans ses méats, et dont la dernière rangée est un endoderme à petites cellules aplaties, munies de larges plissements. Le cylindre central a dix-huit faisceaux ligneux et libériens autour d'une large moelle, qui contient de gros vaisseaux et de gros tubes criblés, et qui se sclérifie plus tard (2). Le péricycle est simple tout autour, çà et là double en dehors des faisceaux ligneux.

(1) M. Borzi a étudié la formation des radicelles dans le *Potamogeton natans* et dans le *P. crispus* (*Malpighia*, I, p. 411, et II, p. 60, 1888). Suivant lui, ces deux espèces se rattacheraient à deux types différents, la première à son premier type, la seconde à son deuxième type. Il ne fait, il est vrai, que signaler le *P. crispus*; mais la place qu'il lui donne est conforme à nos propres observations. Il en est tout autrement du *P. natans*. Suivant nous, cette plante se comporte comme tous les autres *Potamogeton*. Sa racine n'a au sommet que trois sortes d'initiales distinctes pour le cylindre central, l'écorce et l'épiderme calyptrogène (fig. 312), et ces trois sortes d'initiales proviennent, comme il a été dit plus haut, de deux cloisonnements tangentiels successifs des cellules rhizogènes péricycliques.

(2) Pour la structure de la racine des Aroïdées, voy. Ph. Van Tieghem, *Recherches sur la structure des Aroïdées* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, VI, 1866) et *Mémoire sur la racine* (*Ibid.*, XIII, p. 150, 1871).

Pour former une radicelle, un arc péricyclique comprenant six ou huit cellules, trois ou quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, allonge radialement ses éléments et les cloisonne tangentiellement deux fois de suite pour séparer les trois régions avec leurs initiales (fig. 317). La seconde cloison, qui sépare l'épiderme de l'écorce, intéresse les quatre cellules médianes, si l'arc rhizogène en a six; l'épiderme est donc beaucoup plus largement découpé que dans les Graminées et les Cypéracées, et sa ligne de contact avec l'écorce est fortement concave vers le bas. Les cellules extrêmes de l'arc n'en constituent pas moins plus tard une épistèle bien développée. En même temps, l'endoderme, et avec lui les deux assises internes de l'écorce, formées comme lui de cellules tabulaires, dilatent leurs éléments et enveloppent la radicelle d'une poche digestive d'abord triple dans toute son étendue (fig. 317); mais bientôt les deux assises externes sont digérées par l'endoderme, à l'exception des cellules basilaires, relevées tout autour en anneau. Ainsi redevenue simple, la poche ne tarde pas à s'épaissir autour de l'extrémité et à s'y diviser deux ou trois fois tangentiellement.

A la sortie, la région supérieure de la poche vient seulement de se détacher du manchon inférieur, qui demeure incorporé; entre ce niveau assez bas et celui où se sépare l'épiderme au voisinage du sommet, s'étend sur une grande longueur l'épistèle, dont l'assise périphérique vient placer ses grandes cellules en continuité avec le manchon endodermique. L'épiderme a encore son bord en biseau fixé à un gradin de la plus haute des cellules périphériques de l'épistèle; mais il s'en détachera bientôt, tandis que l'assise corticale externe sous-jacente placera ses grandes cellules en continuité avec celles de cette assise périphérique, dont le gradin s'efface peu à peu. Il s'est cloisonné cinq ou six fois tangentiellement et forme sous la poche une épaisse calyptre fortement concave vers le bas.

L'écorce, terminée par deux initiales et dont le sommet est fortement bombé, se divise progressivement trois ou quatre fois vers le bas, où ses assises se continuent par celles de l'épi-

stèle; celle-ci a pris environ huit assises d'épaisseur et renferme déjà bon nombre de cellules à raphides et aussi çà et là des cellules à mâcles sphéroïdales. Tout en bas s'opère le raccord des endodermes par l'intermédiaire des cellules triplissées. Le cylindre central, terminé par une ou deux initiales, a déjà ses faisceaux ligneux et libériens différenciés à la base; les premiers s'attachent non seulement sur le faisceau ligneux médian, mais encore sur les deux faisceaux ligneux voisins; les seconds s'insèrent de même non seulement sur les deux faisceaux libériens les plus proches, mais encore sur les deux suivants. Pour établir ces amorces, le péricycle se cloisonne tout autour de la jeune radicelle postérieurement à sa formation sur une largeur suffisante, et le méristème ainsi constitué se différencie en faisceaux ligneux et libériens. Joint à la largeur primitive de l'arc rhizogène, cet élargissement ultérieur de l'insertion donne à la radicelle une base épaisse qui contraste avec la base étroite qu'elle a chez les Graminées et les Cypéracées. Il est intéressant de savoir ce que deviennent, pendant la digestion de l'écorce, les poils scléreux que renferment ses méats. Il paraît qu'ils résistent à la digestion, car on en retrouve un bon nombre inattaqués contre les flancs de la radicelle, libres ou plongés dans une substance gélatineuse provenant de la digestion des cellules qui les enveloppaient.

La racine latérale de l'*Acorus Calamus* a, sous l'assise pilifère, une zone corticale externe centrifuge de deux ou trois assises, dont l'extérieure est une assise subéreuse très fortement différenciée, et une zone corticale interne centripète, épaisse, creusée de lacunes polyédriques séparées par des murs unisériés, et terminée par un endoderme à plissements. Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, cinq faisceaux ligneux et cinq faisceaux libériens alternes autour d'une petite moelle. L'arc péricyclique rhizogène, comprenant six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les cloisonne tangentiellement deux fois, pour séparer les trois régions de la radicelle avec

leurs initiales. L'endoderme forme une poche digestive d'abord simple et qui demeure telle sur les flancs, où elle est incorporée ; elle est bientôt divisée par une ou deux cloisons tangentielles qui la rendent double ou triple autour de l'extrémité, où elle est détachée en forme de bonnet. C'est cette poche qui attaque et digère le tissu mou de l'épaisse écorce, sans le comprimer sensiblement, car les lacunes aérifères conservent leur forme et leur dimension autour du mamelon.

A la sortie, l'épiderme de la radicelle, largement découpé autour du sommet bombé de l'écorce, a pris quatre ou cinq cloisons tangentielles et forme ainsi sous la poche une épaisse calyptre. Entre son bord, qui va devenir libre, et le bord du manchon incorporé de la poche, s'étend la partie supérieure de l'épistèle, dont l'assise périphérique se continue à la fois vers le bas avec le manchon, vers le haut avec l'assise corticale externe. L'écorce est terminée par deux initiales un peu enchevêtrées avec celles de l'épiderme et du cylindre central, ce qui les rend assez difficiles à distinguer ; elle s'est divisée quatre fois vers la base où elle se continue par l'épistèle, pour raccorder tout en bas son endoderme avec celui de la racine mère. Le cylindre central se termine par une seule initiale (1).

Sous un voile de deux ou trois assises d'épaisseur, une racine latérale d'*Anthurium leuconeurum* a une écorce composée d'une trentaine d'assises et un cylindre central muni d'un péricycle simple, de dix faisceaux ligneux, de dix faisceaux libériens alternes et d'une large moelle plus tard scléreuse. La radicelle s'y forme en face d'un faisceau ligneux comme dans l'*Acorus*, avec cette différence que la poche endodermique y demeure simple jusqu'à la fin. A la sortie, la base élargie de la radicelle recouvre trois faisceaux ligneux et quatre faisceaux

(1) Cet enchevêtrement des initiales, qui les rend plus ou moins difficiles à reconnaître, a porté M. Treub à admettre, au sommet de la racine développée de diverses Aroïdées, des initiales communes à l'écorce et à l'épiderme (Treub, *Le méristème primitif dans la racine des Monocotylédones*, Leyde, 1876, p. 31). M. Flahault attribue à la racine terminale embryonnaire de ces plantes tantôt des initiales distinctes (*Calla*), tantôt des initiales communes aux trois régions (*Arum*, *Dracunculus*) (*loc. cit.*, p. 37).

libériens. Son épiderme, détaché au-dessus d'une épistèle très développée, a pris au sommet environ quinze cloisons tangentielles et enfonce le milieu convexe de sa face inférieure dans la concavité de l'écorce. Son écorce, terminée dans cette concavité par une initiale accompagnée de chaque côté par un ou deux segments indivis, s'est cloisonnée neuf ou dix fois au niveau de la séparation de l'épiderme. Plus bas, c'est l'épistèle, qui va s'amincissant vers la base, où s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central a son sommet tronqué occupé par une initiale, accompagnée de chaque côté par un ou deux segments indivis. Les trois rangs superposés d'initiales et de segments indivis, appartenant respectivement à l'épiderme, à l'écorce et au cylindre central, sont enchevêtrés sur leurs limites et ne se distinguent qu'avec de l'attention.

Une racine latérale de *Richardia africana* a, sous l'assise pilifère, une zone corticale centrifuge de trois ou quatre rangs dont l'extérieur est l'assise subéreuse, et une zone corticale interne centripète de douze rangs dont l'intérieur est un endoderme à larges plissements. Le cylindre central a un péricycle simple, sept faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens alternes autour d'une petite moelle.

L'arc rhizogène péricyclique comprend six cellules, trois de chaque côté du vaisseau externe d'un faisceau ligneux ; ces cellules s'allongent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions de la radicelle (fig. 315). En même temps l'arc d'endoderme superposé, comprenant sept cellules, et aussi les deux assises suivantes de l'écorce interne, accroissent leurs éléments et enveloppent le mamelon d'une poche digestive triple dès le début. De très bonne heure l'assise interne et aussi la médiane prennent une cloison tangentielle, de sorte que la poche est bientôt composée de cinq assises (fig. 315) ; l'externe est plus tard digérée à la base et entraînée en forme de bonnet ; les autres sont incorporées à la base autour de l'épistèle et détachées plus haut par glissement. A la sortie, sous cette épaisse poche, l'épi-

derme de la radicelle n'a pris qu'une seule cloison tangentielle à l'extrémité (fig. 316). Son écorce, terminée par deux initiales étroites et hautes, ne s'est divisée que trois fois vers la base, où se fait à travers l'épistèle le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central a une seule initiale au sommet. Quelquefois c'est au contraire le cylindre central qui se termine par une paire d'initiales et l'écorce qui n'en a qu'une.

Même structure de la racine dans le *Caladium bicolor*, et même formation de la radicelle dans le péricycle simple en face d'un faisceau ligneux. Mais ici la seconde cloison tangentielle, qui sépare l'écorce et l'épiderme, est tardive ; le cylindre central a déjà pris de nombreuses cloisons et une forme conique proéminente, l'assise externe s'est déjà dédoublée par une cloison tangentielle dans sa région inférieure, qui sera l'épistèle, lorsque s'opère au sommet la séparation de l'écorce et de l'épiderme. Nous rencontrerons bientôt des plantes chez lesquelles cette seconde cloison tangentielle est plus tardive encore ; mais n'anticipons pas.

L'endoderme et l'avant-dernière assise corticale se développent autour du mamelon, et comme le premier se dédouble, la poche digestive est triple autour du sommet. L'assise externe est digérée autour de la base et forme un bonnet ; l'endoderme est, au contraire, incorporé à l'épistèle et détaché plus haut par glissement. A la sortie, sous cette poche triple, l'épiderme de la radicelle n'a pris encore qu'une seule cloison tangentielle au sommet. Son écorce, terminée par une seule initiale au fond de son extrémité concave, s'est divisée cinq fois vers la base où se fait à travers l'épistèle le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central a aussi une seule initiale au sommet.

Dans le *Colocasia odora*, la racine latérale a la même structure et la radicelle s'y forme de la même manière dans le péricycle simple. Il y a aussi un retard marqué dans la cloison séparatrice de l'écorce et de l'épiderme, celui-ci ne se découpant qu'au sommet du mamelon et laissant au-dessous de

lui une épistèle très développée. L'avant-dernière assise corticale entre aussi dans la constitution de la poche digestive, qui est triple au sommet et qui s'incorpore sur les flancs tout le long de l'épistèle. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, enchâssé dans la concavité de la poche, a pris deux ou trois cloisons tangentielles; son écorce, terminée par une initiale, s'est cloisonnée trois fois vers la base.

Il en est encore de même dans l'*Alocasia Boryi* (fig. 313 et 314), mais la poche y est simple sur les flancs et ne se dédouble qu'au sommet.

Le *Pistia Stratiotes*, enfin, offre, en rapport avec son mode de végétation spécial, un intérêt tout particulier.

La racine latérale de cette plante a, sous son assise externe, dont les très petites cellules ne se prolongent pas en poils, une écorce d'environ douze assises, contenant çà et là des cellules à raphides et des cellules à mâcles sphéroïdales, et divisée en trois zones : l'externe sans méats, la moyenne creusée d'un cercle de grandes lacunes séparées par des murs unisériés rayonnants, l'interne formée de quatre assises superposées, dont la dernière est un endoderme à larges plissements. Le cylindre central a un péricycle simple, dix faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens alternes, autour d'une moelle à larges cellules. Les radicelles prennent naissance très près du sommet, avant l'épaississement des vaisseaux spiro-annelés qui composent les faisceaux ligneux; elles se dirigent obliquement vers le bas à travers l'écorce, de sorte qu'il faut en suivre le développement par des sections longitudinales.

L'arc péricyclique rhizogène comprend, par exemple, trois ou quatre cellules et appuie son milieu contre un faisceau ligneux; il accroît radialement ses éléments et les divise par une cloison tangentielle; le rang interne constitue le cylindre central. Le rang externe est destiné, ici comme partout ailleurs, à produire l'épistèle par sa périphérie, l'écorce et l'épiderme par sa région centrale. Mais, à aucune époque, il ne se fait dans cette région centrale une cloison tangentielle pour

séparer l'écorce et l'épiderme. Ces deux régions demeurent donc ici confondues dans toute l'étendue de la radicelle, comme elles le sont partout ailleurs dans le manchon plus ou moins haut de sa base, c'est-à-dire dans l'épistèle plus ou moins développée.

Le retard, déjà signalé plus haut dans les *Caladium*, *Colocasia*, etc., s'accroît ici davantage et devient un véritable arrêt de développement, lequel est en relation avec la faible durée de la croissance terminale de la radicelle dans la plante que nous étudions. On peut exprimer ce phénomène en disant que, dans la radicelle du *Pistia*, le cylindre central n'est recouvert dans toute son étendue que par l'épistèle, l'épiderme et l'écorce y avortant à la fois. Plus tard, après sa sortie, cette radicelle se trouve donc nécessairement dépourvue de toute partie caduque provenant de son épiderme, c'est-à-dire privée de calyptre.

En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise toutes par une cloison tangentielle, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive double dans toute son étendue, simple seulement à la base même. Les deux assises corticales qui séparent l'endoderme de la lacune aérifère suivent aussi la croissance du mamelon, comme dans les *Tornelia*, *Richardia*, etc., de sorte que la radicelle est enveloppée d'une poche digestive quadruple dans toute son étendue et dès le début. Bientôt l'assise externe issue du dédoublement tangentiel de l'endoderme, demeurant simple à la base, prend d'abord une, puis progressivement vers le sommet, et de dehors en dedans, jusqu'à quatre cloisons tangentielles, tandis que l'assise endodermique interne ne se divise pas; finalement, la poche est donc composée de huit assises autour de l'extrémité (pl. XXI, fig. 318).

Ainsi enveloppée, la radicelle traverse la lacune et pénètre dans la zone corticale externe. C'est alors seulement que commence son travail de digestion. Il s'exerce d'abord sur ses deux assises externes, c'est-à-dire sur la partie de son épaisseur qui ne procède pas de l'endoderme; ces deux assises

disparaissent tout autour de l'extrémité et ne subsistent qu'autour de la base. Puis, la poche, réduite à sa partie essentielle, attaque et dissout la zone corticale externe et l'assise périphérique pour paraître au dehors. A ce moment, elle est double en bas et a, le plus souvent, six assises au sommet. Son assise externe se résorbe alors autour de la base et les cinq assises qu'elle a produites par son cloisonnement tangentiel sont entraînées en forme de bonnet qui, plus tard, s'exfolie. L'assise interne, au contraire, demeurée simple dans toute son étendue, ne se détache pas à la base; elle continue d'accroître et de cloisonner ses cellules; elle est donc et demeure intimement appliquée dans toute son étendue sur la radicelle. En un mot, elle est incorporée à l'épistèle, comme dans les autres plantes de cette famille. Et comme l'épistèle règne ici dans toute la longueur de la radicelle, l'assise interne de la poche revêt aussi dans toute son étendue la radicelle, à qui elle tient lieu d'épiderme.

Sous cette double poche, formée d'une partie caduque et d'une partie fixe, l'épistèle se termine, comme l'écorce d'une racine ordinaire, par une ou deux initiales, superposées à l'initiale unique du cylindre central; vers la base, elle prend des cloisons tangentielles centripètes, au nombre de trois ou quatre, et son assise interne, c'est-à-dire son endoderme, se raccorde en bas avec l'endoderme de la racine mère par l'intermédiaire des cellules triplissées.

Après la sortie, le bonnet formé par la portion externe de la poche digestive tombe bientôt tout d'une pièce, tandis que l'assise interne de la poche continue à revêtir la radicelle dans toute son étendue. L'organe a terminé alors sa croissance. C'est cette courte durée de la croissance qui explique l'avortement de l'écorce et de l'épiderme, ainsi que l'absence de calyptre qui en est la conséquence nécessaire.

En somme, la poche de la radicelle du *Pistia* se compose de trois parties qui ont un rôle différent. Les deux assises externes, d'origine corticale, n'ont qu'un rôle protecteur pendant la traversée de la lacune et sont éphémères. L'assise suivante,

d'origine endodermique, épaissie au sommet par une série de dédoublements centripètes, a un rôle digestif qu'elle exerce d'abord sur les deux assises externes, puis sur la zone extérieure de l'écorce. L'assise interne simple, également d'origine endodermique, a un rôle protecteur qu'elle remplit pendant toute la durée de la végétation aquatique de la radicelle.

Le *Pistia Stratiotes* suit donc la règle générale, en ce sens que la radicelle s'y forme tout entière dans le péricycle et qu'elle y est enveloppée d'une poche digestive d'origine endodermique. Mais il offre, en même temps, un double caractère particulier, que nous n'avons pas rencontré jusqu'ici. L'épiderme et l'écorce ne s'y individualisent pas au sommet de l'épistèle; en même temps, et comme conséquence de ce fait, l'assise interne de la poche digestive y demeure appliquée sur l'épistèle pendant toute la durée de la végétation de la radicelle. C'est un simple arrêt de développement, en rapport avec la vie aquatique de cette plante et avec la très courte durée de la croissance terminale de ses radicelles.

La formation des radicelles dans le *Pistia Stratiotes* a été étudiée par M. Reinke, en 1871 (1), et par M. de Janczewski, en 1874 (2). M. de Janczewski ayant redressé les erreurs commises dans le sujet par M. Reinke, nous n'y reviendrons pas. Nos observations ont confirmé la parfaite exactitude de sa description et des figures qui l'accompagnent. Aussi n'avons-nous pas reproduit nos dessins, qui auraient fait double emploi avec les siens; pourtant, il nous a paru utile de figurer (pl. XXI, fig. 318) un état plus avancé que ceux que cet auteur a représentés. Nous ne différons donc de lui que par une interprétation différente des mêmes faits. Pour M. de Janczewski, la partie interne du produit total de l'endoderme de la racine mère est l'*épiderme* de la radicelle, la partie externe en est la *coiffe*. Il appelle « poche » l'enveloppe externe produite par les assises corticales internes. Pour lui, cette plante réalise donc un *type* particulier de formation de radicelle, type dans

(1) Reinke, *loc. cit.*, p. 44.
(2) Ed. de Janczewski, *loc. cit.*, p. 43, pl. 17, fig. 1-6, 1874.

lequel la radicelle ne tire que son cylindre central et son écorce du péricycle de la racine mère, tandis que son épiderme et sa coiffe procèdent de l'endoderme de la racine mère.

Pour nous, tout ce qui procède de l'endoderme et des assises corticales internes de la racine mère constitue, ici comme partout ailleurs, une poche étrangère surajoutée à la radicelle, et dont le triple rôle a été indiqué plus haut. La radicelle procède tout entière du péricycle, mais elle est dépourvue d'écorce et d'épiderme distincts; autour du cylindre central, elle n'a qu'une épistèle. C'est un arrêt de développement, en relation avec une croissance terminale très limitée, qui à son tour est le résultat du mode de végétation aquatique particulier à cette plante. Il n'y a pas là de type spécial, mais une simple dégénérescence dans la structure propre de la radicelle. Nous en rencontrerons plus tard quelques autres exemples (1).

(1) M. Borzi cite, sans doute d'après M. de Janczewski, comme l'un des exemples de son premier type, le *Pistia Stratiotes*, qu'il nomme *Stratiotes aloides* (*Malpighia*, I, p. 403) et qu'il regarde comme une Hydrocharidée (p. 412). Mais il ne relate, au sujet de cette plante, aucune observation personnelle; il n'y a donc pas lieu d'y insister.

Il étudie, au contraire, avec beaucoup de détails, comme exemple de son troisième type, la formation des radicelles dans le *Richardia africana*, auquel il rattache, comme se comportant de la même manière, les *Dracunculus*, *Arum*, *Arisæma*, *Arisarum*, *Colocasia*, *Ambrosinia* et *Amorphophallus*, toutes plantes appartenant à une même tribu des Aracées, celle des Arées (*Malpighia*, II, p. 63, 1888). Ses observations sur le *Richardia* diffèrent des nôtres en plusieurs points, dont l'un est essentiel. Il a bien observé la cloison tangentielle séparatrice du cylindre central, ainsi que la formation, à l'aide de l'endoderme et des deux assises corticales internes de la racine mère, de ce qu'il appelle une « coiffe primordiale », aux éléments de laquelle il attribue à tort cependant une « activité rénovatrice indéfinie » (p. 65). Mais il admet que dans les premières phases du développement et jusqu'à ce que la radicelle soit près de sortir de l'écorce de la racine mère, il n'y a entre cette « coiffe primordiale » et le sommet du cylindre central qu'une seule paire d'initiales. En d'autres termes, la séparation de l'épiderme et de l'écorce au sommet lui a échappé dans ce premier état. Cela tient peut-être à ce que cette séparation est en effet quelquefois assez tardive, comme il a été dit plus haut dans les *Caladium* et *Colocasia*. C'est seulement peu de temps avant la sortie, que M. Borzi a vu apparaître, dans les initiales superposées au cylindre central, un cloisonnement tangentiel. Suivant lui, ce cloisonnement tangentiel se répète

Typhacées (pl. XXI, fig. 319-322). — Une racine latérale de *Typha latifolia* a, sous l'assise pilifère, une écorce épaisse formée de deux zones : l'externe centrifuge comprend quatre ou cinq épaisseurs de cellules disposées en séries radiales, sans méats ; l'interne centripète renferme une vingtaine d'assises de cellules également disposées en séries radiales alternes avec les précédentes, pourvues de méats et dont la dernière est un endoderme à plissements très courts, localisés sur le bord interne des faces radiales. Le cylindre central a un péricycle simple, douze faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens alternes, disposés autour d'une large moelle.

L'arc péricyclique rhizogène comprend six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux ; il accroît radialement ses éléments et les divise par une cloison tangentielle en deux étages, dont l'inférieur constitue le cylindre central. L'étage supérieur divise ensuite ses quatre cellules médianes par une nouvelle cloison tangentielle, qui sépare l'épiderme en dehors, l'écorce en dedans ; les deux cellules latérales demeurées en dehors de cette division produisent l'épistèle (fig. 319). En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les divise par des cloisons radiales et enveloppe la radicelle

ensuite indéfiniment de l'extérieur vers l'intérieur dans ces initiales, l'ensemble des segments ainsi détachés vers l'extérieur s'adjoignant aux assises internes de la « coiffe primordiale » pour former la coiffe définitive. En d'autres termes, il admet, à partir de ce moment, l'existence d'initiales communes à l'écorce et à la coiffe, initiales communes qui caractériseraient précisément son troisième type. Pour nous, au contraire, la cloison tangentielle qui se forme, après un intervalle de temps plus ou moins long, en dehors de celle qui a séparé le cylindre central, découpe l'épiderme et c'est cet épiderme, une fois individualisé, qui se divise ensuite indéfiniment par des cloisons tangentielles centripètes, en complète indépendance avec les initiales de l'écorce sous-jacente, pour devenir de plus en plus composé et produire, après l'exfoliation de la poche, les calottes indéfiniment renouvelées de la calyptre. Pour nous, en un mot, le *Richardia* et les autres Aroïdées se comportent comme les Graminées, les Cypéracées et les Naïadacées ; elles ne forment pas un type à part. C'est là le désaccord le plus important entre nos observations et celles de M. Borzi. Ce botaniste admet aussi que, dans l'*Arisæma*, il y a deux étages d'initiales communes à l'écorce et à la coiffe. Dans des coupes parfaitement axiles de l'extrémité d'une racine d'*Arisæma atrorubens*, nous n'avons trouvé qu'une seule paire d'initiales spéciales à l'écorce.

d'une poche, qui digère successivement toutes les assises de l'épaisse écorce; cette poche demeure simple sur les flancs, mais se dédouble autour de l'extrémité par une cloison tangentielle (fig. 320-322).

Plus tard, l'épaississement transversal de l'épistèle détache la région supérieure de la poche, en forme de bonnet, d'avec le manchon latéral, qui demeure incorporé à l'épistèle. Plus tard encore, l'épiderme de la radicelle, qui a pris à ce moment deux ou trois cloisons tangentielles, est repoussé à son tour par l'épaississement transversal de l'écorce et détache son bord, qui devient libre; désormais l'épiderme et la calyptre qu'il engendre se trouvent enchâssés dans la concavité du bonnet digestif. L'écorce, terminée par deux initiales, se divise progressivement vers le bas, mais assez lentement pour que son sommet soit arrondi; son assise externe, après avoir détaché le bord de l'épiderme, s'établit en continuité avec l'assise périphérique de l'épistèle, laquelle à son tour se continue vers le bas avec le manchon endodermique incorporé. Ses autres assises se continuent aussi par celles de l'épistèle et son endoderme vient se raccorder en bas avec celui de la racine mère par l'intermédiaire des cellules triplissées. Enfin, le cylindre central se termine par une paire d'initiales.

Même structure de la racine et même formation des radicelles dans le *Sparganium ramosum.*

Pandanées (pl. XXI, fig. 323-325). — La racine latérale du *Pandanus javanicus* a, sous l'assise pilifère, une écorce épaisse d'une vingtaine d'assises, contenant çà et là des cellules à raphides et des faisceaux fibreux renfermant des cellules à cristaux isolés; elle est terminée par un endoderme à petites cellules. Le cylindre central a un péricycle simple, quatorze faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens, rangés autour d'une moelle qui renferme de gros vaisseaux et des paquets de fibres, et qui se sclérifie plus tard de la périphérie au centre (1).

(1) Pour la structure de la racine des *Pandanus*, voy. Ph. Van Tieghem,

L'arc péricyclique rhizogène comprend dix cellules, cinq de chaque côté d'un faisceau ligneux, et s'étend ainsi au-dessus des deux faisceaux libériens voisins jusqu'au contact des faisceaux ligneux suivants (fig. 323). Toutes ces cellules s'allongent radialement, puis se divisent par une cloison tangentielle, qui sépare en dedans le cylindre central; l'assise externe prend ensuite, dans les quatre cellules médianes seulement, une seconde cloison tangentielle qui sépare l'épiderme et l'écorce. Puis les cellules du cylindre central s'allongent rapidement et se divisent par de nombreuses cloisons transversales, de façon qu'il devient difficile de distinguer les deux premières cloisons de toutes les suivantes et le tout constitue un mamelon presque homogène (fig. 324).

L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les divise par une ou deux cloisons radiales et entoure d'abord le mamelon d'une poche digestive simple; mais cette poche ne tarde pas à être dissociée et résorbée autour du sommet de la radicelle, qui se met directement en contact avec le tissu cortical; elle ne subsiste que sur les flancs (fig. 325). Désormais la digestion de l'écorce à traverser est opérée directement par l'épiderme de la radicelle, comme chez les Crucifères et les autres Dicotylédones analogues. En même temps l'épiderme, simple jusque-là, prend des cloisons tangentielles centripètes successives et devient de plus en plus épais. A la sortie, la coiffe qui recouvre le sommet de la radicelle est donc uniquement formée par la calyptre, tandis que dans le *Pistia* elle était uniquement formée par la poche digestive; elle compte une dizaine d'épaisseurs de cellules. A ce moment, l'écorce est terminée par deux initiales et le cylindre central par une seule (1).

Cyclanthées. — Sous l'assise pilifère et l'assise subéreuse, une racine latérale de *Cyclanthus bipartitus* a une mince

Recherches sur la structure des Aroïdées (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, VI, p. 127, 1866).

(1) D'après M. Treub, le sommet de la racine des *Pandanus* a un groupe d'initiales communes pour les trois régions (*loc. cit.*, p. 31).

couche fibreuse et une épaisse zone parenchymateuse comptant une quinzaine d'assises, dont la dernière est un endoderme à petites cellules. Le cylindre central a un péricycle simple, douze faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens alternes, autour d'une moelle qui contient de larges vaisseaux et qui se sclérifie plus tard.

L'arc péricyclique rhizogène, comprenant huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, allonge radialement ses éléments et les cloisonne deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions de la radicelle. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise d'abord par des cloisons radiales, puis autour du sommet par une ou deux cloisons tangentielles, de manière à envelopper la radicelle d'une poche digestive, simple sur les flancs où elle est plus tard incorporée, double à l'extrémité où elle est plus tard détachée et enlevée en forme de bonnet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné quatre fois tangentiellement, a détaché son bord et se trouve logé dans la concavité du bonnet. L'écorce, terminée par deux initiales bien distinctes de celles de l'épiderme, moins de celles du cylindre central, s'est divisée seulement trois ou quatre fois vers le bas, où elle se continue par l'épistèle à travers laquelle elle raccorde son endoderme avec celui de la racine mère (1).

Par la persistance de la poche digestive d'origine endodermique, les Cyclanthées s'éloignent donc nettement des Pandanées, où cette poche est très éphémère.

II. — JONCINÉES.

Restiacées. — Une racine latérale d'*Elegia deusta* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse à faces latérales plissées, qui épaissit et lignifie plus tard ses membranes sur les faces internes et latérales (2). L'écorce, creusée de grandes lacunes

(1) M. Treub attribue à la racine des *Cyclanthus* un groupe d'initiales communes aux trois régions (*loc. cit.*, p. 31).

(2) Ph. Van Tieghem, *Sur l'exoderme des Restiacées* (*Bull. de la Soc. bot.*, XXXIV, 25 novembre 1887).

séparées par des murs rayonnants unisériés, se termine en dedans par un endoderme à plissements, qui plus tard s'épaissit et se lignifie en dedans et sur les côtés. Le cylindre central a un péricycle double tout autour, vingt-quatre petits faisceaux ligneux, formés d'un ou deux vaisseaux étroits, autant de petits faisceaux libériens et une moelle scléreuse, à la périphérie de laquelle est un cercle de huit gros vaisseaux.

L'arc péricyclique rhizogène, qui comprend d'ordinaire cinq cellules externes dont la médiane correspond à un faisceau ligneux, accroît et cloisonne ses deux rangs d'éléments; mais c'est le rang externe seul qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare les trois régions de la radicelle avec leurs initiales. Le rang interne ne donne que la base du cylindre central. Cette double épaisseur du péricycle, avec constitution de la radicelle aux dépens de son assise externe seule, est un fait dont nous avons rencontré de très nombreux exemples chez les Dicotylédones, mais qui est assez rare chez les Monocotylédones.

En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et enveloppe la radicelle d'une poche digestive simple, plus tard digérée autour de la base et entraînée en forme de bonnet. Ce bonnet est quelquefois dédoublé au sommet au moment de la sortie (1).

Ériocaulées. — La racine des *Eriocaulon* a les lacunes de son écorce entrecoupées de diaphragmes transversaux équidistants, rapprochés à intervalles d'environ un demi-millimètre. Ces diaphragmes sont composés de grandes cellules étoilées dont les bras s'ajustent bout à bout en laissant entre eux des ouvertures. L'assise corticale interne est un endoderme à plissements, qui épaissit plus tard et lignifie ses parois. Le cylindre central a ses faisceaux ligneux, réduits

(1) M. Borzi a étudié, parmi les exemples de son second type, la formation des radicelles de l'*Elegia deusta* (*Malpighia*, I, fasc. XII, p. 542, 1888). Ses observations sont de tout point conformes aux nôtres. Nous ne différons de lui que par l'interprétation des faits et la terminologie qui l'exprime.

chacun à un seul vaisseau, directement en contact avec l'endoderme, tandis que ses faisceaux libériens, réduits également à un seul tube criblé, sont séparés de l'endoderme par un arc de cellules péricycliques. Au centre est un large vaisseau, séparé des vaisseaux externes et des tubes criblés par une assise conjonctive (1).

Ces racines produisent rarement des radicelles; pourtant nous en avons observé quelques-unes dans l'*E. septangulare*, encore contenues dans l'écorce de la racine mère et à divers états de développement. Cette racine mère avait quatre faisceaux ligneux et libériens. Toutes les cellules péricycliques comprises entre deux vaisseaux consécutifs, au nombre de trois ordinairement, s'accroissent pour former la radicelle, qui est par conséquent située en face d'un faisceau libérien. Ces cellules s'allongent radialement et prennent une première cloison tangentielle qui sépare le cylindre central; puis la médiane seule prend une seconde cloison tangentielle en dehors de la première, pour isoler l'écorce et l'épiderme, tandis que les deux éléments latéraux du rang externe produisent l'épistèle. L'endoderme suit la croissance du mamelon et forme une poche digestive d'abord simple, plus tard dédoublée autour du sommet et dont la base est incorporée.

Les radicelles se forment donc et se disposent dans ces plantes comme chez les Graminées et les Cypéracées.

Triglochinées. — Une racine latérale de *Triglochin maritimum* a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales dont la dernière est un endoderme à plissements très marqués. Le cylindre central a un péricycle simple, trois faisceaux ligneux autour d'un gros vaisseau axile et autant de faisceaux libériens. L'arc péricyclique rhizogène, composé ordinairement de quatre cellules et dont le milieu correspond à un faisceau

(1) Pour la structure des racines des Ériocaulées, voy. Ph. Van Tieghem, *Structure de la racine et disposition des radicelles dans les Ériocaulées, Centrolépidées, Joncées, Mayacées et Xyridées* (*Journal de botanique*, I, p. 305, 1er décembre 1887).

ligneux, accroît ses éléments et les cloisonne tangentiellement une première fois tous les quatre pour séparer le cylindre central, une seconde fois seulement les deux médians pour découper l'écorce et l'épiderme, les deux latéraux produisant l'épistèle. L'endoderme forme autour du mamelon une poche simple dans toute son étendue, plus tard détachée circulairement par résorption tout autour de la base (1).

Même mode de formation des radicelles dans une racine latérale de *Scheuchzeria palustris*, qui a huit faisceaux ligneux autour d'une moelle.

Palmiers (pl. XXI, fig. 326-328). — Sous une assise pilifère à grandes cellules, la racine latérale de l'*Areca rubra* a une épaisse écorce composée d'une vingtaine d'assises, étroites en dehors, où elles forment une couche scléreuse sous l'assise pilifère, larges en dedans, où elles se terminent par un endoderme à petites cellules tabulaires. Le cylindre central a un péricycle simple, douze faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens autour d'une moelle qui renferme de larges vaisseaux et qui se sclérifie plus tard.

L'arc péricyclique rhizogène, comprenant huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît radialement ses éléments et les cloisonne tangentiellement d'abord tous une première fois pour séparer le cylindre central, puis une seconde fois les deux médians seulement pour isoler au sommet l'épiderme et l'écorce; les éléments latéraux du second rang constituent tous ensemble l'épistèle (fig. 326). L'endoderme dilate en même temps ses cellules et les cloisonne d'abord radialement, pour entourer le mamelon d'une poche digestive simple; plus tard la poche prend autour du sommet une cloison tangentielle et y devient double; plus tard encore elle est digérée dans son manchon latéral par l'accroissement trans-

(1) M. Borzi a étudié, parmi les exemples de son second type, la formation des radicelles dans le *Triglochin Barrelieri* (*loc. cit.*, p. 60). Il se borne, il est vrai, à dire que les choses s'y passent comme dans l'*Alisma Plantago;* mais cela suffit pour établir que ses observations sont conformes aux nôtres dans tous les points essentiels.

versal de la radicelle et ne persiste qu'en forme de bonnet au sommet. Un peu avant la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné trois ou quatre fois tangentiellement et a formé une masse conique, logée dans la concavité du bonnet. Son écorce, presque plane, terminée par deux initiales, s'est divisée trois fois un peu plus bas et se continue avec l'épistèle rétrécie, à la base de laquelle se fait le raccord des endodermes.

Dans la racine du *Chamædorea aurantiaca*, la zone corticale externe conserve ses parois minces, mais par contre la zone interne renferme un grand nombre de fibres disséminées. Sous l'endoderme, le cylindre central a un péricycle simple, quinze faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens autour d'une moelle scléreuse, qui contient de larges vaisseaux et de larges tubes criblés (fig. 328).

L'arc péricyclique rhizogène comprend jusqu'à quatorze cellules et dépasse les deux faisceaux ligneux voisins du médian. Toutes les cellules se divisent une première fois pour séparer le cylindre central, mais les quatre médianes seules se divisent une seconde fois pour isoler l'écorce de l'épiderme; les autres constituent l'épistèle. En même temps l'arc d'endoderme superposé se dédouble tangentiellement; ses deux assises dilatent leurs cellules et enveloppent la radicelle d'une poche digestive double dans toute son étendue; l'assise interne se dédouble plus tard de nouveau autour de l'extrémité et la poche y devient triple (fig. 328). Un peu avant la sortie, cette région supérieure est détachée du manchon inférieur double, qui est incorporé à la radicelle. A ce moment, l'épiderme de celle-ci, encore attaché à l'épistèle, a pris quatre cloisons tangentielles et formé une calyptre nichée dans la concavité du bonnet. Son écorce, terminée par deux initiales peu distinctes de celles du cylindre central, s'est divisée latéralement trois fois; elle se continue avec l'épistèle, à travers laquelle l'endoderme se raccorde tout en bas avec celui de la racine mère.

La racine latérale de l'*Hyophorbe amaricaulis* a la même structure que celle du *Chamædorea*. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, se

cloisonne aussi deux fois pour séparer les trois régions; mais ici la seconde cloison, qui détache l'épiderme, ne laisse en dehors d'elle que la cellule extrême de l'arc; il en résulte que l'épiderme se sépare très bas, que l'épistèle est très réduit et que la radicelle a une large base (fig. 327). Cette première différence en entraîne une autre. L'arc d'endoderme superposé forme une poche simple à la base, dédoublée seulement çà et là vers l'extrémité; mais cette poche est de bonne heure digérée à la base, dans toute la hauteur du manchon simple, par l'épiderme, à la suite de l'épaississement transversal de l'écorce à ce niveau; le reste forme un petit bonnet autour du sommet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle s'est divisée six ou sept fois tangentiellement et forme sous ce bonnet une épaisse calyptre. L'écorce, terminée par une ou deux initiales, s'est divisée quatre ou cinq fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes. Le cylindre central assez étroit se termine par une seule initiale, parfois accompagnée de deux segments latéraux indivis (fig. 327) (1).

Par ces trois exemples, on voit que la poche digestive subit d'assez grandes variations chez les Palmiers, tantôt simple dans toute son étendue (*Hyophorbe*), tantôt simple à la base et double au sommet (*Areca*), tantôt double dans toute son étendue et triple au sommet (*Chamædorea*), ici incorporée à la base, là, au contraire, résorbée dans sa région inférieure.

Joncées (pl. XXI, fig. 329-330). — Une racine latérale de

(1) D'après M. Treub, la racine des Palmiers aurait au sommet un groupe, ordinairement une seule rangée, d'initiales communes à l'écorce et à l'épiderme (*loc. cit.*, p. 29). Suivant M. Flahault, la radicule embryonnaire de ces plantes n'aurait même au sommet aucune différenciation (*loc. cit.*, p. 39). Dans les radicelles, on voit qu'il y a une rangée d'initiales appartenant exclusivement à l'écorce; ce sont les cellules situées au-dessus d'elles qui sont les initiales de l'épiderme, et celles qui sont au-dessous d'elles qui sont les initiales du cylindre central. L'étude de l'extrémité d'une racine développée de *Chamædorea aurantiaca* nous a montré d'ailleurs aussi, au sommet concave de l'écorce, deux initiales, quelquefois accompagnées d'un ou deux segments indivis, surmontées des initiales de l'épiderme en voie de division transversale, et surmontant l'unique initiale du cylindre central.

Juncus maritimus a, sous l'assise pilifère, vingt-trois assises corticales, cinq pour la zone externe, qui se sclérifie plus tard, à l'exception de l'assise subéreuse, dix-huit pour la zone interne; celle-ci est creusée dans sa région extérieure de lacunes provenant de la collabescence radiale de certaines des séries rayonnantes qui la composent; sa zone interne se sclérifie plus tard, à l'exception de l'endoderme dont les cellules sont plus grandes que celles qui le précèdent. Le cylindre central a dix-huit faisceaux ligneux, réduits chacun à un seul vaisseau appuyé contre l'endoderme, et dix-huit faisceaux libériens séparés de l'endoderme par un péricycle simple, le tout disposé autour d'une large moelle qui contient, vers sa périphérie, un cercle de neuf larges vaisseaux. On voit que cette structure ressemble beaucoup à celle des Cypéracées. Elle entraîne aussi les mêmes conséquences au point de vue de l'insertion des radicelles (1).

L'arc rhizogène comprend, en effet, toutes les cellules péricycliques, au nombre de deux ou trois, qui séparent deux vaisseaux voisins; son milieu correspond donc à un faisceau libérien. Ces cellules s'allongent radialement, puis se cloisonnent tangentiellement pour séparer le cylindre central; plus tard la cellule médiane s'il y en a trois, ou les deux moitiés internes de deux cellules préalablement dédoublées radialement, prennent au sommet une nouvelle cloison tangentielle, plane ou même concave vers le bas, qui sépare l'épiderme de l'écorce, tandis que les éléments latéraux de ce second rang produisent l'épistèle (fig. 329).

En même temps l'arc d'endoderme superposé dilate ses trois cellules et les divise par des cloisons radiales, pour envelopper la radicelle d'une poche digestive; cette poche reste simple autour de la base très étroite de la radicelle, mais s'épaissit et se dédouble par une cloison tangentielle autour de son sommet élargi (fig. 329). Plus tard, l'accroissement

(1) Pour la structure de la racine et la disposition des radicelles dans les Joncées, voy. Ph. Van Tieghem, *Journal de botanique*, I, p. 310, 1er décembre 1887.

transversal de l'épistèle au-dessous de la séparation de l'épiderme repousse et détache la région supérieure de la poche, qui forme un bonnet libre, tandis que son manchon inférieur est incorporé à la base étroite de l'épistèle, qu'il contribue à épaissir. A ce moment, l'épiderme se divise par des cloisons tangentielles successives et détache son bord, en se nichant dans la concavité de la poche. A la sortie, il n'a pourtant découpé encore que trois assises de calyptre et forme un couvercle biconvexe entre le bonnet de poche et l'extrémité concave de l'écorce. Celle-ci, terminée par deux initiales, s'est divisée cinq ou six fois très près des initiales, en épaississant beaucoup l'extrémité de la radicelle dont la base demeure fort mince.

Une racine latérale de *Luzula maxima* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse à grandes cellules épaissies sur leur face interne et sept assises corticales sans méats ni lacunes, dont les internes se sclérifient, à l'exception de l'endoderme qui conserve minces les parois de ses grandes cellules. Le cylindre central a douze faisceaux ligneux, réduits chacun à un seul vaisseau en contact avec l'endoderme, et autant de faisceaux libériens alternes, autour d'une large moelle qui contient vers la périphérie un cercle de six ou sept larges vaisseaux et au centre un vaisseau encore plus large. L'arc rhizogène comprend toutes les cellules péricycliques, au nombre de trois à cinq, qui séparent deux vaisseaux voisins. Ces cellules se comportent comme dans les *Juncus* et forment une radicelle en face de chaque faisceau libérien (fig. 330). L'endoderme produit également une poche digestive d'abord simple, et qui ne se dédouble plus tard que tout à fait au sommet. A la sortie, la partie supérieure de cette poche est détachée en forme de bonnet et son manchon inférieur incorporé. A ce moment, l'épiderme n'a pris encore qu'une seule cloison tangentielle et son bord n'est pas encore séparé d'avec l'assise externe de l'épistèle, de sorte que son mode d'origine est encore très net.

En résumé, les Joncées forment et disposent leurs radicelles comme les Graminées et les Cypéracées, et par là se relient étroitement à ces deux familles.

III. — LILIINÉES.

Alismées. — Une racine latérale d'*Alisma Plantago* a, sous l'assise pilifère, huit à dix assises corticales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, cinq faisceaux ligneux formés de deux vaisseaux superposés, appuyés au centre contre un large vaisseau axile, et cinq faisceaux libériens alternes (1).

L'arc péricyclique rhizogène comprend ordinairement quatre cellules, deux de chaque côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'accroissent radialement, puis se cloisonnent tangentiellement une première fois pour séparer le cylindre central, une seconde fois pour isoler l'écorce et l'épiderme; cette seconde cloison porte sur presque toutes les cellules de l'arc. Il en résulte que l'épiderme est séparé très près de la base et entoure presque toute la radicelle, au lieu d'en recouvrir seulement le sommet, comme dans les Graminées, Cypéracées, Joncées, etc.; en d'autres termes, l'épistèle est très peu développée. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, ne les divise que par quelques cloisons radiales et entoure la radicelle d'une poche digestive simple, qui demeure telle dans toute son étendue. A la sortie, elle se détache tout entière circulairement autour de sa base; son manchon inférieur n'est pas incorporé, comme dans les familles précédentes. A ce moment, l'épiderme de la radicelle a découpé deux calottes de calyptre, dont la première descend assez bas; son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée deux fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes. Cette radicelle sortante a tout à fait l'aspect et la structure d'une radicelle ordinaire de Dicotylédone.

Même formation et structure des radicelles dans le *Damasonium stellatum*.

M. de Janczewski a étudié l'origine des radicelles dans

(1) Pour la structure de la racine des Alismacées, voy. Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 162, 1871).

l'*Alisma Plantago* et le *Sagittaria sagittifolia* (1). Nos résultats sont entièrement conformes aux siens (2).

Butomées (pl. XXI, fig. 331-334). — Une racine latérale de *Butomus umbellatus* a, sous l'assise pilifère, quinze assises corticales, dont la dernière est un endoderme à parois minces, munies de courts plissements rapprochés de la face interne. Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, huit faisceaux ligneux unisériés, autant de faisceaux libériens alternes, et au centre de la moelle un gros vaisseau axile.

Les radicelles se forment très près du sommet, et les coupes longitudinales de l'extrémité donnent toute la série des états de leur développement. L'arc rhizogène péricyclique, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, comprend six cellules; ces cellules s'accroissent radialement, puis se cloisonnent tangentiellement, une première fois toutes pour séparer le cylindre central (fig. 331 et 332); une seconde fois les quatre médianes seulement, pour isoler l'écorce de l'épiderme (fig. 333); les deux latérales du rang externe produisent l'épistèle. En face de chaque mamelon ainsi produit, l'assise corticale interne demeure simple, tandis que partout ailleurs elle se dédouble, son assise interne prenant plus tard les plissements et devenant l'endoderme définitif (fig. 331). Cet arc dilate ses cellules et les divise par des cloisons radiales, de manière à envelopper la radicelle d'une poche simple, qui digère aussitôt successivement toutes les assises de l'écorce. A la sortie, cette poche, toujours simple, est incorporée autour de la base rétrécie de l'épistèle et détachée au-dessus en forme de bonnet. Au-dessous d'elle, l'épiderme de la radicelle a pris deux cloisons tangentielles et est devenu triple. Son écorce, terminée par deux initiales ou par une initiale entre deux segment indivis (fig. 334), est quadruple à la base, où se fait à

(1) *Loc. cit.*, p. 47, pl. 17, fig. 7-9 et pl. 18, fig. 1 et 2, 1874.

(2) M. Borzi a suivi le développement des radicelles dans le *Sagittaria chinensis* et a obtenu de son côté les mêmes résultats (*Malpighia*, II, p. 60, 1888).

travers l'épistèle le raccord des endodermes. Son cylindre central a une initiale au sommet (1).

Commélinacées (pl. XXI, fig. 335-337). — La racine terminale du *Commelina communis* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse à grandes cellules et cinq assises corticales en séries radiales, dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux formés chacun de deux ou trois vaisseaux superposés, appuyés vers le centre contre un large vaisseau axile, et quatre faisceaux libériens alternes (fig. 335).

L'arc péricyclique rhizogène comprend quatre cellules, deux de chaque côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'accroissent radialement, puis se cloisonnent tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions. La seconde cloison n'intéresse que les cellules médianes de l'arc, de sorte que l'écorce et l'épiderme ne sont distincts qu'au sommet (fig. 335). L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et ne les divise que par quelques cloisons radiales, de manière à envelopper la radicelle d'une poche digestive simple dans toute son étendue, et qui est plus tard digérée circulairement autour de la base. A la sortie, l'épiderme de la radicelle a découpé, mais à son sommet seulement, une calotte de calyptre qui proémine fortement sous la poche. Son écorce, terminée par une grande initiale, parfois accompagnée de chaque côté d'un segment indivis, s'est cloisonnée deux fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes. Les trois cellules terminales de l'écorce recouvrent comme d'un toit l'unique initiale du cylindre central.

(1) A part un seul cas où l'écorce avait une initiale propre, M. Treub a toujours vu dans le *Butomus umbellatus* des initiales communes à l'écorce et à la coiffe, disposées en deux assises (*loc. cit.*, p. 41). Nous voyons, au contraire, que les radicelles ont toujours une initiale corticale indépendante de celle de l'épiderme calyptrogène. C'est aussi la conclusion à laquelle est arrivé M. Flahault pour la racine terminale embryonnaire (*loc. cit.*, p. 63).

M. Borzi cite le *Butomus umbellatus* comme se rattachant, avec les *Alisma* et *Sagittaria*, à son second type, mais sans donner le détail de ses observations (*Malpighia*, II, p. 61, 1888).

Une racine latérale de *Tradescantia discolor* a, dans son cylindre central, un péricycle simple, sept faisceaux ligneux disposés autour d'un large vaisseau axile et sept faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène, composé de trois ou quatre cellules et dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, s'accroît radialement et se cloisonne tangentiellement deux fois de suite pour séparer les trois régions (fig. 336). La seconde cloison n'intéresse que la cellule médiane de l'arc, de sorte que l'épiderme se détache assez haut et ne recouvre que le sommet de la radicelle; les cellules latérales forment une épistèle assez développée. L'endoderme se dilate, cloisonne radialement ses cellules et entoure la radicelle d'une poche digestive simple dans toute son étendue (fig. 337).

Xyridacées. — Sous une assise pilifère formée de grosses cellules, une racine latérale de *Rapatea* (espèce indéterminée) a une dizaine d'assises corticales, dont la dernière est un endoderme à petites cellules plissées. Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, çà et là double en face d'un faisceau ligneux, huit faisceaux ligneux, autant de faisceaux libériens et une moelle qui renferme quatre gros vaisseaux à sa périphérie.

L'arc rhizogène prend six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux; ces cellules s'allongent radialement et, par deux cloisons tangentielles dont l'externe n'intéresse que les deux cellules médianes, séparent les trois régions et l'épistèle. L'arc d'endoderme superposé se dilate en même temps et forme une poche autour du mamelon. Quand le péricycle est double au point considéré, le rang externe s'accroît et se découpe, comme il vient d'être dit, pour donner la radicelle; le rang interne s'accroît peu et ne produit que la base du cylindre central. Les choses se passent alors comme dans l'*Elegia deusta*.

A la sortie, la poche, toujours simple dans toute son étendue, est incorporée à l'épistèle dans sa région inférieure, dissociée plus haut par l'épaississement de l'épistèle et détachée

en forme de bonnet. Sous ce bonnet l'épiderme ne s'est divisé tangentiellement qu'une fois. L'écorce, terminée par deux initiales, est double latéralement et se continue plus bas dans l'épistèle épaissie. Le cylindre central a une initiale au sommet.

Pontédériacées (pl. XXII, fig. 338-343). — Une racine latérale de *Pontederia cordata* a, sous l'assise pilifère et l'assise subéreuse, une écorce épaisse à séries radiales, lacuneuse dans sa zone externe, terminée en dedans par un endoderme plissé. Le cylindre central a un péricycle simple, douze faisceaux ligneux formés de deux vaisseaux superposés, qui s'appuient trois par trois vers l'intérieur contre quatre larges vaisseaux disposés en cercle autour d'une petite moelle, et autant de faisceaux libériens alternes réduits ordinairement à un seul tube criblé pentagonal (1).

Les radicelles naissent très près du sommet, avant la formation des lacunes dans la zone externe de l'écorce, et les coupes longitudinales de l'extrémité les montrent à tous les états. L'arc péricyclique rhizogène comprend quatre cellules, deux de chaque côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'allongent radialement, puis se divisent par une cloison tangentielle; le rang interne constitue le cylindre central (fig. 338). Le rang externe ne prend pas, dans ses cellules médianes, la cloison tangentielle ordinaire pour séparer l'écorce et l'épiderme. Les cellules y demeurent indivises. Et ce n'est pas là un simple retard, comme on l'a vu plus haut dans le *Caladium*, par exemple, mais bien un arrêt complet de développement, comme dans le *Pistia*. Comme chez cette dernière plante, le cylindre central de la radicelle n'est à tout âge revêtu dans toute son étendue que par l'épistèle, qui se cloisonne tangentiellement de bas en haut et de dehors en dedans, comme fait l'écorce dans le cas normal (fig. 340 et 341).

Vis-à-vis de chaque mamelon ainsi produit, l'assise corticale interne demeure simple, tandis que partout ailleurs elle

(1) Voy. Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 159).

est dédoublée par une cloison tangentielle, son assise interne devenant plus tard l'endoderme définitif. Elle dilate ses cellules et ne les divise d'abord que par des cloisons radiales de manière à entourer la radicelle d'une poche digestive simple (fig. 338-340); mais bientôt cette poche s'épaissit progressivement vers le sommet, et s'y divise par des cloisons tangentielles successives (fig. 341); toujours simple sur les flancs, elle devient donc d'abord double, puis triple, et parfois quadruple autour de l'extrémité (fig. 342).

A la sortie, elle est détachée circulairement à la base et enveloppe l'extrémité de la radicelle d'un bonnet qui compte au sommet trois ou quatre épaisseurs de cellules et n'en aura jamais davantage (fig. 343). C'est ce bonnet qui constitue seul la coiffe. Il n'y a pas, et, en l'absence d'épiderme, il ne saurait y avoir ici de calyptre. A ce moment l'épistèle de la radicelle, terminée au sommet par deux initiales, quelquefois par une seule (fig. 342), s'est divisée trois ou quatre fois tangentiellement vers la base, où se fait le raccord des endodermes. Après l'exfoliation de la poche, c'est l'assise périphérique de l'épistèle qui devient l'assise pilifère.

Même formation des radicelles et même structure de leur sommet dans le *Pontederia azurea*.

Les radicelles se forment aussi de la même manière dans l'*Eichhornia crassipes*. La cloison séparatrice de l'écorce et de l'épiderme n'y apparaît non plus à aucun âge et l'épistèle y revêt le cylindre central dans toute son étendue. La coiffe s'y réduit à la poche digestive, et après l'exfoliation de cette poche, l'épistèle mise à nu développe son assise périphérique en assise pilifère.

MM. Nägeli et Leitgeb ont étudié l'origine des radicelles de cette dernière plante (1). Ils ont bien décrit la formation de la poche digestive, qu'ils appellent la coiffe (*Wurzelhaube*), aux dépens de l'assise corticale interne de la racine mère et remarqué que la radicelle n'a pas d'autre coiffe que celle-là.

(1) Nägeli et Leitgeb, *loc. cit.*, p. 138, pl. XX, fig. 1-5, 1868.

Mais la véritable constitution du sommet de la radicelle leur a échappé. La figure 5 de la planche XX montre, en effet, le cylindre central et l'écorce se confondant au sommet dans un groupe homogène de petites cellules.

Comme le *Pistia*, auquel elles ressemblent par la précocité et la croissance terminale très limitée de leurs radicelles, les Pontédériacées font donc une exception à la règle, et cette exception consiste non dans la réalisation d'un type nouveau, mais dans un simple arrêt de développement. Il y a toutefois une différence. Dans le *Pistia*, la poche digestive se sépare en deux parties, l'une caduque, l'autre qui demeure adhérente à la radicelle et en recouvre toute la surface. Dans les Pontédériacées la poche est formée d'une seule pièce et se détache tout entière. Là l'épistèle est recouverte d'un faux épiderme, ici elle est mise à nu (1).

(1) M. Borzi a décrit avec beaucoup de soin, comme exemple de son premier type, la formation des radicelles dans le *Pontederia cordata* (*Malpighia*, I, fasc. VIII-IX, p. 404, 1888). Ses observations sont parfaitement conformes aux nôtres, excepté sur un point, qui a son importance. Suivant ce botaniste, dans une certaine phase avancée du développement, les initiales qui surmontent le cylindre central, simples jusque-là, prennent une cloison tangentielle « et désormais, entre les segments supérieurs et les inférieurs, s'établit une parfaite indépendance ». Les premiers, qui ne prennent pas de cloisons tangentielles, deviennent les initiales propres du dermatogène, les seconds les initiales propres de l'écorce. Ni sur les radicelles à l'état le plus avancé de leur développement interne, c'est-à-dire en voie de sortie, comme le montre la figure 343, pl. XXII, ni au sommet des radicelles ou des racines latérales en voie de croissance dans le milieu extérieur, nous n'avons observé ce cloisonnement tangentiel des initiales qui surmontent le cylindre central. S'il s'opérait, comme le dit M. Borzi, l'assise externe serait pour nous l'épiderme, et l'exception présentée par les Pontédériacées consisterait en ce que cet épiderme demeure indéfiniment simple et reste indéfiniment adhérent au corps de la racine, en un mot ne forme pas de calyptre. Cette sorte d'exception se rencontre, en effet, chez les Monocotylédones, comme nous le verrons plus loin en étudiant l'*Hydrocharis*. L'opinion de M. Borzi est d'ailleurs en désaccord avec les observations de M. Treub et de M. Flahault sur la constitution du sommet de la racine chez les *Pontederia*. M. Treub dit, en effet, au sujet de l'*Eichhornia crassipes*, que « si l'on a la bonne fortune d'obtenir des coupes médianes, comme celles des figures 14 et 15, l'idée d'un dermatogène tissu primitif s'envole » (*loc. cit.*, p. 23). De son côté, M. Flahault décrit et figure dans le *Pontederia cordata*, au-dessus du cylindre central, deux initiales communes

Liliacées (pl. XXII, fig. 344-346). — La racine terminale de l'*Asphodelus fistulosus* a, sous l'assise pilifère, six assises corticales dont la dernière est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle continu, cinq faisceaux ligneux appuyés au centre contre un large vaisseau axile et cinq faisceaux libériens alternes (1). L'arc rhizogène comprend huit cellules péricycliques, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, et s'étend par-dessus les faisceaux libériens jusqu'aux deux faisceaux ligneux voisins. Ces cellules s'allongent radialement, puis se cloisonnent tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions; la seconde cloison portant sur les quatre cellules médianes de l'arc, il en résulte que l'épiderme enveloppe la radicelle dans une assez grande partie de sa longueur et que l'épistèle n'est pas très développée. L'endoderme se dilate en même temps et entoure la radicelle d'une poche digestive simple sur les flancs, plus tard dédoublée autour du sommet (fig. 344).

A la sortie, la partie supérieure de la poche est détachée en forme de bonnet, par l'épaississement transversal de l'épistèle au-dessous de la séparation de l'épiderme, tandis que son court manchon basilaire demeure incorporé. A ce moment, l'épiderme de la radicelle, dont le bord n'est pas encore détaché, s'est divisé trois ou quatre fois vers l'extrémité, où il forme une calyptre assez épaisse dans la concavité du bonnet. L'écorce, terminée par deux initiales, ne s'est divisée que deux ou trois fois vers la base, où se fait à travers l'épistèle le raccord des endodermes; son assise externe, à cellules allongées radialement, se met dans le prolongement de l'assise périphérique de l'épistèle, de manière à simuler une seule et même assise (2).

à l'écorce et à ce qu'il nomme improprement l'épiderme (*loc. cit.*, p. 51, fig. 10). Les résultats de MM. Treub et Flahault sont, au contraire, en parfaite concordance avec ceux que nous avons exposés et figurés plus haut. Il est probable que l'erreur de M. Borzi, comme les erreurs du même genre que nous avons eu assez fréquemment l'occasion de relever dans le cours de notre travail, provient d'un défaut d'axilité des coupes étudiées.

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 131).

(2) D'après M. Treub (*loc. cit.*, p. 13) et M. Flahault (*loc. cit.*, p. 42), la

Les radicelles se forment de la même manière dans la racine terminale de l'*Eucomis undulata* dont la structure est quaternaire, dans celle de l'*Echeandia terniflora* et du *Bulbine annuum* dont la structure est ternaire. Elles se forment encore de la même manière dans la racine terminale du *Tulipa Gesneriana* et du *Lilium Martagon*, dont la structure est binaire. Mais ici l'arc péricyclique rhizogène est situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux; la radicelle a donc une déviation plus ou moins grande et toutes les radicelles ensemble sont disposées en quatre séries, plus ou moins rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. La structure binaire de la racine mère entraîne donc ici, comme chez les Dicotylédones, la disposition quadrisériée des radicelles. Seulement, comme la structure binaire est beaucoup plus rare chez les Monocotylédones, la disposition quadrisériée des radicelles y est aussi beaucoup moins fréquente.

Une racine latérale de *Lilium candidum* a, sous l'assise pilifère, dix assises corticales dont la plus interne, de bonne heure épaissie sur sa face extérieure, porte des plissements sur la partie interne de ses faces radiales. Le cylindre central a un péricycle simple, sept faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène comprend d'abord huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux; plus tard, les cellules voisines, au nombre de quatre de chaque côté, se cloisonnent aussi pour élargir la base de la radicelle. Ces huit cellules s'allongent radialement et se partagent toutes par une cloison tangentielle, qui sépare le cylindre central. Puis, les deux médianes prennent une nouvelle cloison tangentielle qui s'épare l'écorce et l'épiderme; les autres forment l'épistèle (fig. 346).

En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les divise par des cloisons radiales et enveloppe la radicelle d'une poche digestive simple, qui demeure telle jus-

racine des Liliacées aurait au sommet un groupe d'initiales communes à l'écorce et à l'épiderme. Suivant nous la radicelle a pour ces deux régions des initiales distinctes, quoique peu différenciées et souvent enchevêtrées.

qu'à la fin. A la sortie, le manchon inférieur de la poche est incorporé à l'épistèle, tandis que la partie supérieure est détachée en forme de bonnet. Sous ce bonnet, l'épiderme a pris alors quatre cloisons tangentielles et est devenu quintuple. L'écorce, terminée par une initiale, a pris six assises à sa base, c'est-à-dire au niveau de la séparation de l'épiderme. L'épistèle très développée a six ou huit assises à la base, où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Zone incorporée de la poche, assise périphérique de l'épistèle dans l'intervalle entre la séparation de la poche et celle de l'épiderme, assise corticale externe, enfin, se placent dans le prolongement l'une de l'autre, donnent à leurs cellules la même forme prismatique et simulent ainsi une seule et même assise. Le cylindre central a au sommet une seule initiale (1).

Une racine latérale de *Dianella tasmaniana* a, sous l'assise pilifère, douze assises corticales dont l'interne est un endoderme à petites cellules tabulaires. Le cylindre central a un péricycle simple, douze faisceaux ligneux et douze faisceaux libériens alternes, autour d'une moelle qui se sclérifie plus tard. L'arc péricyclique rhizogène comprend huit cellules, quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux, et s'étend jusqu'aux deux faisceaux ligneux voisins. Ces cellules s'allongent radialement et se cloisonnent tangentiellement, une première fois dans toute la largeur pour séparer le cylindre central, une seconde fois dans la région médiane seulement pour isoler l'écorce et l'épiderme (fig. 345). L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les cloisonne radialement et entoure le

(1) M. Borzi a décrit en détail, comme exemple de son quatrième type, la formation des radicelles du *Lilium candidum* (*Malpighia*, II, fasc. II-III, p. 81, 1888). Il admet qu'aucune différenciation ne s'y établit dans le mamelon péricyclique et que les trois régions de la radicelle ont indéfiniment au sommet des initiales communes. Sous ce rapport, le désaccord le plus profond existe donc entre nos observations et les siennes. Dans l'état incomplet de la publication de son Mémoire et en l'absence des figures nécessaires à l'intelligence du texte, nous devons renoncer à chercher l'explication de cette divergence fondamentale. Bornons-nous à rappeler que, contrairement à l'opinion de M. Borzi, M. Treub et M. Flahault admettent chez toutes les Liliacées des initiales propres au moins pour le cylindre central.

mamelon d'une poche digestive simple, qui plus tard se dédouble au sommet.

Dans une racine latérale de *Dracæna Baptisti*, la radicelle se forme de la même manière et se trouve enveloppée d'une poche endodermique, simple latéralement, dédoublée au sommet.

Dans une racine latérale d'*Hemerocallis disticha* qui a, sous son écorce très épaisse, un large cylindre central composé de vingt-quatre faisceaux ligneux et libériens autour d'une vaste moelle, la radicelle se constitue de même dans le péricycle simple, en face d'un faisceau ligneux; mais l'arc d'endoderme, après avoir suivi un peu la croissance du mamelon, est digéré d'abord sur les flancs, plus tard au sommet. La radicelle est donc de bonne heure dépourvue de poche digestive, et c'est son épiderme, bientôt divisé tangentiellement autour de l'extrémité, qui attaque directement l'écorce pour s'en nourrir et la traverser. Les choses se passent ici à peu près comme on l'a vu plus haut chez les *Pandanus*.

Une racine latérale d'*Agapanthus variegatus* a, sous l'assise pilifère composée, qui forme un voile, une assise subéreuse très différenciée et une épaisse écorce terminée en dedans par un endoderme plissé. Le cylindre central a un péricycle simple, avec sept faisceaux ligneux et libériens autour d'une moelle. Les radicelles s'y forment avec poche digestive simple incorporée à la base, comme dans le *Lilium*. Avant la sortie, l'épiderme a pris une dizaine d'assises au sommet et forme une sorte de bouchon enfoncé dans la concavité de l'écorce; celle-ci a une seule initiale; le cylindre central en a deux.

IV. — IRIDINÉES.

Amaryllidées (pl. XXII, fig. 347). — Une racine latérale d'*Amaryllis vittata* a son écorce recouverte d'un voile, formé de deux ou trois assises de petites cellules dont les externes se prolongent çà et là en poils absorbants. Les grandes cellules de l'assise subéreuse sous-jacente se sont cloisonnées tangen-

tiellement une ou deux fois; au-dessous d'elles, l'écorce compte environ vingt assises dont la plus interne est un endoderme à petites cellules munies de larges plissements. Le cylindre central a un péricycle simple, seize faisceaux ligneux, autant de faisceaux libériens alternes et une large moelle.

L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, comprend environ vingt cellules et recouvre jusqu'à cinq faisceaux vasculaires. Toutes ces cellules s'accroissent et prennent une première cloison tangentielle, qui sépare le cylindre central en dedans; mais les médianes seules prennent la seconde cloison tangentielle, qui isole l'écorce et l'épiderme; l'épistèle est donc assez développée. L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules, les divise par des cloisons radiales et enveloppe la radicelle d'une poche simple, qui prend plus tard une cloison tangentielle à l'extrémité. A la sortie, elle est digérée autour de la base et recouvre comme d'un bonnet à bord libre l'extrémité de la radicelle (fig. 347). L'épiderme de celle-ci a pris à ce moment environ quinze cloisons tangentielles au sommet et formé ainsi une épaisse calyptre enchâssée dans la poche et convexe vers le bas dans sa région moyenne. Son écorce, terminée par une seule initiale au fond de son extrémité concave, s'est divisée tangentiellement environ dix fois vers le bas au niveau de la séparation de l'épiderme; plus bas, c'est l'épistèle, qui s'amincit progressivement et se termine par deux ou trois assises au niveau où se fait le raccord des endodermes. Le cylindre central a une paire d'initiales au sommet. Les initiales des trois régions sont à ce moment un peu enchevêtrées, et il faut de l'attention pour les distinguer (1).

Dioscoréacées (pl. XXII, fig. 348). — Une racine latérale de *Testudinaria elephantipes* a, sous l'assise pilifère, dix assises

(1) D'après M. Treub (*loc. cit.*, p. 19), la racine terminale ou latérale des Amaryllidées a un groupe d'initiales communes à l'écorce et à l'épiderme calyptrogène. M. Flahault est du même avis pour la racine terminale embryonnaire des *Narcissus*, *Sternbergia*, *Zephyranthes*; mais dans l'*Agave* il a constaté

corticales dont l'avant-dernière se sclérifie, tandis que la dernière, qui est l'endoderme, conserve ses parois minces. Le cylindre central a un péricycle simple, six faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens autour d'une petite moelle qui devient scléreuse. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît radialement ses cellules et les cloisonne tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions. La seconde cloison n'intéresse que les cellules médianes de l'arc, de sorte que l'épiderme ne se détache qu'au sommet, et que l'épistèle est très développée.

L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules, les cloisonne radialement et entoure la radicelle d'une poche digestive simple sur les flancs où elle est plus tard incorporée, dédoublée autour de l'extrémité où elle est refoulée en dehors et soulevée en forme de bonnet. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, dont le bord a été détaché par l'arrondissement des cellules corticales externes, a pris trois ou quatre cloisons tangentielles et forme dans la concavité du bonnet une calyptre biconvexe (fig. 348). L'écorce, terminée par une ou deux initiales et dont le contour externe est concave, s'est divisée rapidement cinq fois vers le bas où elle se continue par l'épistèle; son assise externe, formée de grandes cellules radiales, se prolonge par l'assise périphérique de l'épistèle, qui à son tour se continue en bas par le manchon digestif incorporé; ensemble ces trois assises ajustées bout à bout simulent une rangée unique. De même l'assise corticale interne se continue dans l'épistèle, à travers laquelle elle se raccorde en bas avec l'endoderme de la racine mère (1).

avec certitude l'existence d'initiales distinctes pour l'écorce et pour l'épiderme calyptrogène (*loc. cit.*, p. 41). Nos observations nous portent à croire que, dans tous les genres de cette famille, les radicelles ont des initiales propres pour l'écorce et pour l'épiderme; seulement ces initiales sont assez souvent enchevêtrées entre elles et avec celles du cylindre central.

(1) D'après M. Treub (*loc. cit.*, p. 20) et M. Flahault (*loc. cit.*, p. 16), la racine des Dioscorées aurait au sommet un groupe d'initiales communes pour l'écorce et l'épiderme calyptrogène. Dans la radicelle, les initiales de l'écorce et celles de l'épiderme sont bien distinctes, quoiqu'un peu enchevêtrées.

Iridées (pl. XXII, fig. 349-355). — La racine terminale du *Sisyrinchium tenuifolium* et du *S. chilense* a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales dont l'interne est l'endoderme. Le cylindre central a un péricycle simple, cinq faisceaux ligneux formés de deux ou trois vaisseaux chacun, appuyés au centre contre un large vaisseau axile, et cinq faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène péricyclique comprend quatre cellules, deux de chaque côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'accroissent radialement, puis se cloisonnent tangentiellement deux fois, la première dans toute la largeur pour séparer le cylindre central, la seconde dans les deux cellules médianes seulement pour isoler l'épiderme et l'écorce, les éléments latéraux constituant l'épistèle (fig. 349). L'endoderme superposé dilate aussi ses cellules, ne les cloisonne que radialement et entoure la radicelle d'une poche digestive simple dans toute son étendue, qui se dédouble quelquefois tout à fait au sommet (fig. 350). Plus tard, cette poche est incorporée à la base, digérée dans la partie moyenne, détachée en bonnet dans la région supérieure.

A la sortie, l'épiderme de la radicelle a pris deux ou trois cloisons tangentielles; son bord va se détacher et constituera bientôt dans la concavité de la poche un couvercle assez large, à surface inférieure faiblement concave ou même tout à fait plane (fig. 351). L'écorce, terminée par deux initiales et dont le contour est faiblement convexe ou tout à fait plan, s'est divisée trois ou quatre fois vers le bas; son assise externe se continue avec l'assise périphérique de l'épistèle et celle-ci avec le manchon incorporé, de manière à ne former qu'une seule assise à grandes cellules prismatiques qui sera l'assise pilifère. Tout en bas, se fait le raccord des endodermes par l'intermédiaire des cellules triplissées.

La racine terminale du *Moræa irioides* a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales dont l'interne est un endoderme à grandes cellules carrées ou même allongées radialement, dont la paroi externe est épaissie et dont les plissements très étroits sont localisés au bord interne des faces radiales; plus tard

ces cellules s'épaississent en U. Le cylindre central a un péricycle ordinairement double, parfois simple, quatorze faisceaux ligneux unisériés et autant de faisceaux libériens alternes, autour d'une moelle qui contient à sa périphérie un cercle de huit larges vaisseaux et qui se sclérifie plus tard.

L'arc rhizogène comprend ordinairement dix cellules, cinq de chaque côté d'un faisceau ligneux, et dépasse de chaque côté les deux faisceaux ligneux de droite et de gauche. Les cellules péricycliques voisines se divisent aussi plus tard et se différencient en fascicules ligneux et libériens d'attache, de sorte que l'insertion de la radicelle, ainsi élargie, intéresse jusqu'à sept faisceaux ligneux et six faisceaux libériens. Les cellules rhizogènes proprement dites s'allongent radialement et prennent une première cloison tangentielle qui sépare le cylindre central; la seconde cloison tangentielle n'intéresse que les cellules médianes de l'arc, de sorte que l'épiderme ne se sépare qu'autour de l'extrémité. S'il y a deux assises au péricycle, l'externe seule se cloisonne pour donner les trois sortes d'initiales; l'interne ne donne que la base du cylindre central. En même temps l'endoderme dilate ses grandes cellules et les divise par des cloisons radiales, enveloppant ainsi la radicelle d'une poche digestive, qui ne tarde pas à se dédoubler autour du sommet (fig. 352).

A la sortie, le manchon basilaire est incorporé, l'anneau suivant est digéré par la croissance transversale de l'épistèle au-dessous du départ de l'épiderme, et le reste est entraîné comme un bonnet. A ce moment aussi, l'épiderme de la radicelle a pris deux cloisons tangentielles et forme une sorte de couvercle à face inférieure plane, enchâssé dans la concavité de la poche. L'écorce, dont la surface est plane ou même concave, se termine par deux initiales et s'est divisée trois fois près du sommet; elle se continue vers le bas par l'épistèle et tout en bas s'opère le raccord des endodermes (fig. 352 et 353).

Une racine latérale d'*Iris germanica* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse plissée et une épaisse écorce pourvue de cellules cristalligènes, terminée par un endoderme à grandes

cellules prismatiques, bientôt épaissies en U, excepté en face des faisceaux ligneux. Le cylindre central a un péricycle simple, avec dix-huit faisceaux ligneux et libériens autour d'une moelle qui se sclérifie plus tard. L'arc rhizogène comprend quatre à huit cellules, deux à quatre de chaque côté d'un faisceau ligneux; ces cellules se divisent tangentiellement d'abord toutes pour découper le cylindre central, puis les deux ou quatre médianes seulement pour séparer l'épiderme et l'écorce; les cellules latérales du rang externe produisent une épistèle très développée (fig. 354). L'arc d'endoderme superposé se dilate, se divise par des cloisons radiales et entoure le mamelon d'une poche digestive simple, qui demeure telle jusqu'à la fin.

A la sortie, cette poche est incorporée à l'épistèle dans son manchon basilaire; la région supérieure, repoussée par l'accroissement transversal de la région supérieure de l'épistèle, se détache et forme un bonnet (fig. 355). Sous ce bonnet, l'épiderme a pris trois ou quatre cloisons tangentielles et est devenu quadruple ou quintuple. L'écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée quatre fois à sa base, où elle se continue par l'épistèle progressivement rétrécie, à travers laquelle se fait le raccord des endodermes. Le cylindre central se termine par une seule initiale. Pendant que la radicelle s'accroît, les cellules péricycliques situées tout autour de l'arc rhizogène et jusqu'à une assez grande distance se cloisonnent tangentiellement et différencient plus tard leurs cellules en fascicules libériens et ligneux, de façon que l'insertion de la radicelle intéresse une grande partie de la périphérie du cylindre central.

Même structure de la racine latérale et même formation des radicelles dans le *Gladiolus segetum*. Mais ici les grandes cellules endodermiques qui forment la poche digestive se divisent quelquefois tangentiellement autour de l'extrémité, ce qui rend le bonnet double en cet endroit (1).

(1) D'après M. Treub (*loc. cit.*, p. 20), la racine des Iridées aurait des initiales communes à l'écorce et à l'épiderme. M. Flahault admet bien des initiales spéciales pour l'écorce dans les *Iris*, mais il regarde les *Moræa*, *Tigridia*, etc., comme ayant des initiales communes (*loc. cit.*, p. 4). Pour M. Borzi (*Malpi-*

Hémodoracées (pl. XXII, fig. 356). — La racine latérale de l'*Anigozanthus flavidus* a, sous l'assise pilifère, douze assises corticales dont la dernière est un endoderme à petits plissements rapprochés de la face interne. Le cylindre central a un péricycle simple, neuf faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens ayant au centre un large tube criblé pentagonal, avec une moelle contenant trois ou quatre gros vaisseaux. L'arc rhizogène péricyclique comprend d'ordinaire quatre cellules, deux de chaque côté d'un faisceau ligneux. L'une des deux médianes s'accroît plus que l'autre qu'elle rejette latéralement, de manière à se placer dans l'axe du mamelon. Ces cellules se divisent toutes tangentiellement pour isoler le cylindre central, mais la médiane seule prend au sommet la seconde cloison qui sépare l'écorce et l'épiderme (fig. 356). L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et enveloppe le mamelon d'une poche simple, qui demeure telle jusqu'à la fin. A la sortie, sa base est incorporée à l'épistèle et le reste est soulevé en forme de bonnet. Sous ce bonnet, l'épiderme constitue à ce moment une petite calotte très étroite dédoublée tangentiellement. L'écorce, terminée par une grande initiale, est également très peu développée et seulement double latéralement. L'épistèle, qui couvre tout le flanc du cylindre central, est triple en son milieu. La radicelle tout entière est très grêle.

ghia, II, p. 74 et suiv., 1888), les radicelles des Iridées (*Iris*, *Gladiolus*, *Sparaxis*, *Ferraria*) auraient un groupe d'initiales communes à leurs trois régions. On voit par ce qui précède que les radicelles de ces plantes ont, au contraire, trois sortes d'initiales distinctes, quelquefois un peu enchevêtrées. Mais nos observations sont en désaccord avec celles de M. Borzi sur un autre point, tout aussi important. Ce botaniste admet, en effet, que chez les Iridées la coiffe de la radicelle procède de l'endoderme de la racine mère et qu'elle va s'épaississant et se renouvelant sans cesse par le dédoublement tangentiel centripète de cet endoderme; l'origine de la coiffe serait donc totalement indépendante de celle de la radicelle. Il y a là une erreur grave. Comme on l'a vu plus haut, l'endoderme de la racine mère des *Iris*, par exemple, ne forme autour de la radicelle qu'une poche simple; c'est l'épiderme de la radicelle qui vient doubler cette poche au sommet et dont les cloisonnements tangentiels centripètes constituent et renouvellent la calyptre. La formation de cet épiderme calyptrogène a échappé à M. Borzi.

Sous l'assise pilifère et l'assise subéreuse fortement différenciée, la racine latérale de l'*Aletris fragrans* a une épaisse écorce, terminée en dedans par un endoderme à grandes cellules plissées. Le cylindre central a un péricycle simple, vingt faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens alternes autour d'une large moelle. L'arc péricyclique rhizogène comprend huit ou dix cellules; mais plus tard les cellules voisines se cloisonnent tangentiellement et produisent des fascicules libériens et ligneux qui élargissent beaucoup la base d'insertion de la radicelle et l'étendent sur plus de la moitié du pourtour du cylindre. Les cellules rhizogènes se cloisonnent comme à l'ordinaire pour donner les trois régions et l'épistèle. En même temps, non seulement l'endoderme, mais encore une ou deux assises corticales internes suivent la croissance du mamelon et l'entourent d'une poche double ou triple, dont la base est plus tard incorporée aux flancs de l'épistèle.

A la sortie, sous le bonnet terminal de la poche, l'épiderme a pris huit ou dix cloisons tangentielles et forme une épaisse calyptre. L'écorce, terminée par deux initiales enchevêtrées avec celle de l'épiderme et du cylindre central, s'est divisée huit fois vers la base où se fait, à travers l'épistèle, le raccord des endodermes.

Même structure de la racine latérale et même mode de formation des radicelles avec élargissement ultérieur de leur base d'insertion, dans les *Ophiopogon* (*O. jaburan*, *O. graminifolium*). Dans l'*O. graminifolium*, l'assise pilifère se dédouble tangentiellement et forme un voile. Dans le *Sansevieria fasciata*, il en est encore de même; la poche digestive y est double dans toute son étendue, et son assise interne, produite par l'endoderme, se dédouble même tangentiellement autour du sommet.

Broméliacées (pl. XXIII, fig. 357). — Une racine latérale d'*Ananassa variegata* a, sous l'assise pilifère, une écorce subdivisée en deux zones et composée d'une douzaine d'assises, dont la dernière est un endoderme à cellules tabulaires et à plissements étroits localisés sur le bord externe des faces

radiales. Le cylindre central a un péricycle unisérié, douze faisceaux ligneux et libériens, avec une moelle qui renferme à sa périphérie un cercle de larges vaisseaux et qui se sclérifie au centre. L'arc péricyclique rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît ses cellules et les divise comme d'ordinaire pour séparer les trois régions et l'épistèle. L'endoderme dilate ses cellules et enveloppe le mamelon d'une poche simple, plus tard incorporée à la base et détachée en bonnet à l'extrémité. A la sortie, l'épiderme de la radicelle, découpé seulement autour du sommet et divisé deux fois tangentiellement, forme une calyptre enchâssée dans le bonnet; au-dessous de lui, l'écorce se termine par deux initiales (1).

Sous l'assise pilifère, la racine latérale d'un *Vriesca* (d'espèce indéterminée) a une écorce épaisse d'environ vingt assises dont les externes épaississent leurs parois et dont l'interne est un endoderme à membranes latérales très minces, pourvues de petits plissements localisés près des arêtes internes. Le cylindre central a un péricycle simple, vingt-quatre faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens autour d'une large moelle. L'arc rhizogène péricyclique, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, compte de vingt-huit à trente cellules et s'étend sur sept faisceaux ligneux. Il accroît ses cellules et les cloisonne toutes tangentiellement pour séparer le cylindre central, puis dédouble de nouveau les médianes pour isoler l'écorce et l'épiderme (fig. 357). L'arc d'endoderme superposé, et en même temps une ou deux des assises corticales internes, accroissent leurs cellules et forment autour de la radicelle une poche triple dès l'origine; mais bientôt les cellules endodermiques se cloisonnent dans les trois directions, les deux autres assises font de même, quoique avec moins d'intensité, et le tout enveloppe le mamelon d'une poche

(1) M. Treub assigne à la racine des Broméliacées un groupe d'initiales communes pour l'écorce et l'épiderme (*loc. cit.*, p. 24). M. Flahault a reconnu, au contraire, dans le *Dyckia*, des initiales spéciales pour l'écorce (*loc. cit.*, p. 19). On voit que la radicelle a des initiales corticales tout aussi indépendantes de celles de l'épiderme que de celles du cylindre central.

très épaisse, pouvant compter jusqu'à dix et douze assises au sommet. Dans d'autres radicelles de la même plante, plus étroites et qui ne recouvrent que trois à cinq faisceaux ligneux, l'endoderme seul contribue à former la poche, qui est alors moins épaisse (fig. 357). Le volume de la poche varie donc ici suivant la grosseur des radicelles considérées.

Musacées (pl. XXIII, fig. 358-359). — La racine terminale du *Musa Ensete* a, sous l'assise pilifère, une assise subéreuse munie de larges plissements sur les faces latérales et cinq ou six assises corticales dont la dernière est un endoderme à grandes cellules pourvues d'assez larges plissements. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux confluents en croix au centre et quatre faisceaux libériens alternes. Cette racine périt de bonne heure sans donner de radicelles, et il en est de même des premières racines latérales qui naissent de bas en haut sur la jeune tige. Les racines latérales de la plante adulte en diffèrent par une écorce plus épaisse comptant une vingtaine d'assises, et par un cylindre central plus large ayant par exemple quinze faisceaux ligneux et libériens sous un péricycle simple et autour d'une moelle. Elles produisent de nombreuses radicelles.

L'arc péricyclique rhizogène comprend six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'accroissent radialement et un premier cloisonnement tangentiel y sépare en dedans le cylindre central; puis l'assise externe prend une nouvelle cloison tangentielle qui n'intéresse que les quatre cellules médianes et isole ainsi l'épiderme de l'écorce, en laissant en bas l'épistèle (fig. 358). L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules et forme autour du mamelon une poche digestive, bientôt dédoublée par une cloison tangentielle dans sa région terminale. Plus tard, l'anneau basilaire de la poche est incorporé tout autour de l'épistèle et la région supérieure est repoussée en dehors en forme de bonnet (fig. 359). Avant la sortie, sous ce bonnet double, l'épiderme de la radicelle a pris au sommet cinq ou six cloisons

tangentielles. Son écorce, terminée par une initiale, s'est divisée trois ou quatre fois vers la base où se fait le raccord des endodermes (1).

Zingibéracées (pl. XXIII, fig. 360-363). — Une racine latérale d'*Amomum granum-paradisi* a, sous l'assise pilifère, quatorze assises corticales, dont la dernière est un endoderme à cellules tabulaires et à larges plissements. Le cylindre central a un péricycle simple, quatorze faisceaux ligneux et libériens et une petite moelle scléreuse. L'arc péricyclique rhizogène comprend douze cellules, six de chaque côté d'un faisceau ligneux, et dépasse souvent les deux faisceaux ligneux voisins (fig. 363). Ces cellules s'allongent radialement et se cloisonnent toutes tangentiellement pour séparer le cylindre central; après quoi les quatre médianes du rang externe seules se divisent de nouveau tangentiellement pour isoler l'épiderme et l'écorce. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise par des cloisons radiales en enveloppant le mamelon d'une poche digestive simple; cette poche demeure simple autour de la base, où elle est plus tard incorporée, mais se dédouble tout autour de l'extrémité, où elle est plus tard détachée du manchon et soulevée en forme de bonnet.

A la sortie, l'épiderme de la radicelle, qui descend notablement au-dessous du sommet, a pris quatre cloisons tangentielles à l'extrémité. L'écorce, terminée par deux initiales accompagnées de chaque côté d'un segment entier, s'est divisée progressivement cinq fois vers la base, où s'opère le raccord des endodermes. Les cellules péricycliques qui bordent l'arc rhizogène primitif s'accroissent aussi tout autour, dans un rayon assez étendu, se cloisonnent et produisent des fascicules d'attache libériens et ligneux; de cette façon, l'insertion d'une radicelle intéresse en définitive jusqu'à sept faisceaux

(1) M. Treub attribue aux Musacées (*Heliconia*, *Musa*) des initiales communes pour l'écorce et la coiffe (*loc. cit.*, p. 25). M. Flahault est du même avis pour ce qui concerne la racine terminale embryonnaire (*loc. cit.*, p. 54). On voit, au contraire, que les radicelles de ces plantes ont des initiales propres pour chacune de leurs trois régions.

ligneux et s'étend par conséquent sur la moitié de la périphérie du cylindre central.

Même mode de formation des radicelles, avec coiffe composée d'une poche et d'une calyptre, dans le *Zingiber moga*, l'*Alpinia calcarata* et le *Costus villosus* (fig. 360 et 361); mais ici la poche demeure simple dans toute son étendue, aussi bien au sommet qu'à la base, et la calyptre ne possède, au moment de la sortie, que deux calottes. La coiffe totale n'a donc en tout que trois assises d'épaisseur (fig. 361). Dans le *Costus villosus*, au moment de la sortie de la radicelle, son écorce, terminée par deux initiales, ne s'est divisée encore que deux fois vers la base où se fait le raccord des endodermes. Dans l'*Hedychium sulfureum* (fig. 362), enfin, la poche est double au sommet où elle forme un petit bonnet plat, elle est digérée sur les flancs et incorporée à la base. L'épiderme ne s'y sépare aussi que plus près de l'extrémité, de façon que le contour supérieur de l'écorce est plan ou même concave.

Cannées (pl. XXIII, fig. 364-368). — Une racine latérale de *Canna* (*C. indica*, *C. zebrina*, *C. Annei*, etc.) a, sous l'assise pilifère, une vingtaine d'assises corticales, dont la dernière est un endoderme à cellules tabulaires. Le cylindre central a un péricycle simple, quinze faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens, autour d'une moelle renfermant à sa périphérie sept larges vaisseaux (1).

L'arc péricyclique rhizogène, comprenant, par exemple, six cellules, trois de chaque côté d'un faisceau ligneux, accroît ses éléments et les cloisonne d'abord tous tangentiellement pour séparer le cylindre central (fig. 364); puis une seconde cloison tangentielle, localisée dans les extrémités élargies des deux cellules médianes, sépare l'épiderme et l'écorce, les autres cellules du rang externe produisant l'épistèle (fig. 365). En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les divise par des cloisons radiales, et entoure la radi-

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 136, 1871).

celle d'une poche digestive simple et qui demeure telle dans toute son étendue (fig. 366); elle est plus tard incorporée à la base et sur les flancs, détachée en forme de bonnet autour du sommet (fig. 367). A la sortie, l'épiderme de la radicelle, séparé assez bas autour de l'extrémité conique de l'écorce, est tellement enchâssé dans la concavité de la poche qu'il a l'air de lui appartenir et d'être étranger à la racine; il a découpé trois calottes de calyptre (fig. 368). L'écorce, terminée par une ou deux grandes initiales, s'est divisée progressivement cinq fois vers le bas, où elle se continue par l'épistèle; tout à fait à la base s'opère le raccord des endodermes. A ce moment, la radicelle est grêle et par sa forme cylindrique ressemble à celle des *Scirpus*, *Juncus*, etc.

Orchidées (pl. XXIII, fig. 369-370). — Une racine latérale d'*Oncidium sphacelatum* a, sous un voile formé de six à dix assises de cellules spiralées, une écorce composée de huit rangées de cellules également munies d'épaississements spiralés et réticulés, terminée en dedans par l'endoderme; celui-ci garde ses parois minces en face des faisceaux ligneux, mais les sclérifie en dehors des faisceaux libériens. Le cylindre central a onze faisceaux ligneux et autant de faisceaux libériens, autour d'une moelle scléreuse; son péricycle est simple et demeure mou en dehors du bois, tandis qu'il se lignifie en dehors du liber (1).

L'arc péricyclique rhizogène comprend jusqu'à vingt cellules et davantage; son milieu correspond à un faisceau ligneux (fig. 369). Ces cellules s'allongent radialement et prennent d'abord deux cloisons tangentielles successives. La première s'étend à toute la largeur de l'arc et sépare le cylindre central; la seconde n'intéresse que les cellules médianes et isole au sommet du mamelon l'écorce et l'épiderme, en laissant l'épistèle sur les flancs. En même temps l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les cloisonne radialement et entoure

(1) Voy. Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 146, 1871).

le mamelon d'une poche endodermique simple ou divisée çà et là par une cloison tangentielle, plus tard incorporée à la base et soulevée au sommet en forme de bonnet. Au moment où la radicelle, après avoir attaqué et dissous d'abord les épaississements spiralés des cellules corticales, puis les membranes elles-mêmes, va percer le voile pour paraître au dehors, son épiderme s'est divisé tangentiellement sept ou huit fois pour constituer une épaisse calyptre; le tout forme à l'extrémité une sorte de lentille biconvexe. Son écorce, dont le contour supérieur est concave, se termine par deux initiales au fond de la concavité, et se divise rapidement de chaque côté; l'assise la plus externe se partage aussi de très bonne heure pour produire le voile.

La racine latérale du *Cymbidium aloifolium* a aussi un voile épais finement spiralé, une assise subéreuse plissée, une épaisse écorce munie de bandes épaissies qui rappellent les réseaux de soutien corticaux de certaines Gymnospermes (*Araucaria*, *Torreya*, etc.) et de diverses Dicotylédones (*Rhizophora*, etc.), et renfermant aussi çà et là des fibres isolées, enfin un endoderme plissé qui garde ses parois minces en face des faisceaux ligneux. La radicelle s'y forme de la même manière et offre aussi au sommet la même structure. Mais ici la poche digestive prend plusieurs cloisons tangentielles autour de l'extrémité et bien avant la sortie elle se montre triple ou quadruple (fig. 370) (1).

Hydrocharidées (pl. XXIII, fig. 371-375). — Une racine latérale d'*Hydrocharis morsus-ranæ* a, sous l'assise pilifère, deux assises corticales extérieures au cercle de grandes lacunes aérifères, deux assises intérieures à ce cercle et un endoderme à parois minces munies de plissements bien marqués. Les lacunes sont séparées par des murs rayonnants unisériés et entrecoupées à de courts intervalles par des dia-

(1) M. Treub attribue à la racine des Orchidées des initiales communes à l'écorce et à l'épiderme (*loc. cit.*, p. 27). La radicelle a, comme on voit, des initiales distinctes, quoique peu différenciées, pour l'écorce et pour l'épiderme.

phragmes horizontaux percés à jour, qui alternent dans les lacunes voisines. Le cylindre central a un péricycle simple, ordinairement trois, quelquefois deux ou quatre faisceaux ligneux réduits chacun à un seul gros vaisseau, séparés au centre par une petite moelle, et autant de faisceaux libériens alternes comprenant chacun deux ou trois larges tubes criblés (1). Les radicelles naissent en petit nombre non loin du sommet, avant l'épaississement de la paroi des vaisseaux, mais après la formation des lacunes corticales. Elles se dirigent perpendiculairement à l'axe de la racine mère, de sorte qu'on peut les étudier aussi bien en coupe transversale qu'en section longitudinale.

L'arc péricyclique rhizogène comprend d'ordinaire quatre cellules, deux de chaque côté d'un vaisseau; ces cellules s'allongent radialement, puis prennent une cloison tangentielle qui sépare en dedans le cylindre central; celui-ci se cloisonne aussitôt dans les trois directions (fig. 371). Les cellules du rang externe se divisent ensuite par une cloison tangentielle et progressivement de bas en haut, de sorte qu'à un moment donné elles sont toutes dédoublées, à l'exception de la cellule terminale qui est encore simple (fig. 372). Mais celle-ci ne tarde pas à prendre aussi une cloison tangentielle dans le prolongement des autres, et désormais l'écorce est séparée de l'épiderme (fig. 373). Faut-il regarder toute l'assise externe comme un épiderme, qui serait alors distinct dès la base? Nous croyons que la marche du cloisonnement est contraire à cette manière de voir. C'est seulement la dernière cloison, formée au sommet dans la cellule ou dans les deux cellules demeurées simples jusque-là, qui sépare l'écorce en dedans, l'épiderme en dehors. Toute la région sous-jacente est l'épistèle, laquelle, en raison de l'apparition tardive de la cloison épidermique, a le temps de constituer son assise périphérique avant que l'écorce et l'épiderme se séparent au sommet. Les choses se passent ici comme dans le *Pontederia* et le

(1) Voy. Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 165, 1871).

Pistia, mais avec cette différence, qu'ici la cloison épidermique se fait, quoiqu'un peu tard, tandis qu'elle ne se fait à aucune époque dans ces deux genres. Quoi qu'il en soit, l'épiderme, une fois constitué au sommet, suit désormais la croissance terminale de la racine; mais à aucun moment il ne prend de cloison tangentielle; il demeure simple indéfiniment (fig. 374 et 375).

L'arc d'endoderme superposé suit le développement de la radicelle et de très bonne heure se dédouble par une cloison tangentielle. Les deux autres assises corticales internes se dilatent aussi et se divisent par des cloisons radiales, mais sans se dédoubler. Il en résulte que le mamelon est enveloppé d'une poche quadruple dans toute son étendue (fig. 372 et 373). Bientôt, l'assise externe de la poche est résorbée autour de la base et entraînée en forme de bonnet, souvent disloqué en plusieurs parties. Puis la seconde (fig. 374), la troisième et enfin la quatrième assise se séparent de même autour de la base; la radicelle n'est plus revêtue que par quatre bonnets à bords libres (fig. 375). C'est la poche ainsi constituée qui digère la zone externe de l'écorce.

A la sortie, l'écorce de la radicelle, terminée par une paire d'initiales, s'est cloisonnée tangentiellement quatre ou cinq fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes (fig. 373). Son cylindre central a également deux initiales au sommet. Après la sortie, la radicelle, à mesure qu'elle s'accroît, se dépouille, comme on sait, successivement des quatre bonnets de sa poche. Son épiderme, simple dans toute son étendue, demeure, au contraire, adhérent à l'écorce et prolonge ses cellules en longs poils absorbants. En un mot, il n'y a pas de calyptre et la coiffe se réduit à la poche digestive. Sous ce rapport, l'*Hydrocharis* fait exception à la règle de la même manière que le *Pontederia* et le *Pistia*. Mais il diffère profondément de ces deux genres par la présence d'un épiderme. D'un autre côté, par la simplicité et par l'adhérence de cet épiderme, il fait une exception unique chez les Monocotylédones. C'est l'épiderme, en effet, non l'assise corticale externe,

c'est-à-dire l'exoderme, qui devient ici l'assise pilifère. Cette exception rappelle celle que nous ont offerte chez les Dicotylédones certaines radicelles de bonne heure arrêtées dans leur croissance terminale, par exemple celles des *Æsculus* (p. 167). Là aussi l'épiderme reste simple et totalement adhérent ; il n'y a pas de calyptre.

Quand la racine mère n'a que deux faisceaux ligneux et libériens, les radicelles s'y forment de la même manière, mais se disposent obliquement par rapport au faisceau ligneux correspondant, de manière à traverser l'écorce avec une certaine déviation et à se trouver toutes ensemble disposées en quatre séries longitudinales.

Une racine latérale de *Stratiotes aloides* a, sous l'assise pilifère, une écorce divisée en trois zones : l'externe, sans méats, comprend trois assises de grandes cellules un peu collenchymateuses; la médiane, formée également de trois assises, est creusée d'un cercle de lacunes aérifères séparées par des murs rayonnants bisériés; l'interne, pourvue de petits méats, se compose de trois à cinq assises, dont la dernière est un endoderme à larges plissements. Le cylindre central a un péricycle simple, cinq faisceaux ligneux formés ordinairement d'un seul vaisseau assez large, cinq faisceaux libériens alternes réduits à un seul large tube criblé pentagonal, et une moelle qui contient quatre gros vaisseaux en cercle (1).

(1) M. de Janczewski a décrit la structure de la racine de cette plante en des termes qui tendraient à faire croire que cette structure est tout à fait anomale. « Les vaisseaux, dit-il, sont disposés en un cercle éloigné de l'écorce...; les tubes cribreux forment un deuxième cercle; ils sont appuyés contre la couche péricambiale (péricycle) et leur nombre est plus que double de celui des vaisseaux » (*loc. cit.*, p. 179). La figure 14 de la planche 15 représente en effet les vaisseaux séparés du péricycle par trois ou quatre rangs de cellules, tandis qu'un nombre double de tubes criblés, moitié superposés aux vaisseaux, moitié alternes avec eux, s'appuient contre le péricycle. Il y a là une erreur. La première moitié de ces prétendus tubes criblés, ceux qui sont superposés aux gros vaisseaux internes, sont en réalité autant de vaisseaux spiralés représentant chacun un faisceau ligneux, comme les autres, alternes avec eux et qui sont de vrais tubes criblés, représentent chacun un faisceau libérien. Les faisceaux ligneux et libériens alternent donc contre un péricycle

L'arc rhizogène comprend quatre cellules, deux de chaque côté d'un vaisseau externe. Ces cellules s'accroissent radialement et se divisent d'abord toutes par une première cloison tangentielle pour séparer le cylindre central; puis les deux médianes seulement se dédoublent par une seconde cloison tangentielle extérieure à la première, pour isoler l'écorce et l'épiderme, les deux latérales constituant l'épistèle. L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules et enveloppe le manchon d'une poche digestive simple, qui se dédouble plus tard.

Le *Stratiotes aloides* produit donc ses radicelles, d'ailleurs assez rares, suivant le mode normal. Il ne présente ni l'anomalie de l'*Hydrocharis*, ni encore moins celle du *Pistia* ou du *Pontederia* (1).

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE DES MONOCOTYLÉDONES ET COMPARAISON AVEC LES DICOTYLÉDONES

En résumé, l'étude de l'origine, de la croissance interne et de la sortie des radicelles chez les Monocotylédones, étendue comme elle vient de l'être à vingt-huit familles, c'est-à-dire à la presque totalité des familles de cette classe (2), conduit à quelques résultats généraux très simples.

Partout la radicelle procède tout entière du péricycle de la racine mère. Pour la former, un certain nombre de cellules péricycliques, au moins deux sur la section transversale, très rarement une seule, entrent en croissance et en division. Elles

simple, suivant la règle. Les vaisseaux internes sont des vaisseaux supplémentaires comme on en trouve si souvent chez les autres Monocotylédones; ils sont en nombre un peu moindre que les externes et par conséquent ne leur sont pas toujours exactement superposés.

(1) Aussi est-ce par une singulière méprise que M. Borzi a signalé (*loc. cit.*, p. 403) le *Stratiotes aloides* comme se rattachant au même type que l'*Hydrocharis* et le *Pontederia*.

(2) Deux familles seulement ont dû être laissées de côté : les Lemnacées, parce que les racines n'y produisent pas de radicelles, et les Centrolépidées, pour lesquelles les matériaux nous ont manqué.

s'allongent radialement et prennent toutes une cloison tangentielle; le rang interne ainsi formé constitue le cylindre central, dont sa cellule médiane ou ses deux cellules médianes fournissent l'initiale ou la paire d'initiales. Le rang externe prend ensuite, mais dans une ou plusieurs de ses cellules médianes seulement, une nouvelle cloison tangentielle, qui sépare plus ou moins haut l'épiderme et l'écorce; tandis que les cellules latérales, demeurées indivises, produiront plus tard, autour de la base du cylindre central, une épistèle plus ou moins longue.

Seules les Pontédériacées (*Pontederia*, *Eichhornia*), auxquelles il faut joindre une Aroïdée, le *Pistia Stratiotes*, ne produisent à aucun âge cette seconde cloison tangentielle; l'épiderme et l'écorce ne s'y séparent donc jamais l'un de l'autre; en d'autres termes, l'épistèle y règne dans toute la longueur de la radicelle, qui a d'ailleurs chez ces plantes une croissance terminale très limitée.

Quand le péricycle est double, ce qui est rare dans cette classe, c'est l'assise externe qui se comporte comme il vient d'être dit, et qui produit les trois régions avec leurs initiales. L'assise interne ne donne que la base du cylindre central.

Chacune des trois régions de la radicelle a donc toujours son initiale ou ses initiales distinctes et superposées, et ces initiales proviennent toutes les trois le plus souvent de la cellule médiane ou de l'une des deux cellules médianes de l'arc rhizogène, plus rarement des deux cellules médianes à la fois.

L'épiderme demeure simple dans son bord inférieur, mais se divise bientôt, et progressivement vers le sommet, par des cloisons tangentielles centripètes, chaque assise pouvant rester simple ou se dédoubler à son tour une ou plusieurs fois; il devient ainsi de plus en plus composé. Ses cellules, ou bien demeurent disposées régulièrement à la fois en assises concentriques et en séries longitudinales, ou bien alternent latéralement et sont seulement superposées en hauteur, ou bien au contraire sont juxtaposées latéralement et alternent en hauteur, ou bien enfin alternent en tous sens et sont disposées

sans ordre. Ce sont là des variations sans importance. Seul l'*Hydrocharis morsus-ranæ* fait exception à cette règle. L'épiderme n'y prend aucune cloison tangentielle, demeure indéfiniment simple et paraît n'être que le prolongement autour du sommet de l'assise périphérique de l'épistèle.

Sous cet épiderme composé, l'écorce est toujours simple au sommet même, où elle se termine par une initiale ou une paire d'initiales, parfois accompagnées de chaque côté par un ou plusieurs segments encore indivis. A partir des initiales ou des segments latéraux, elle se divise tangentiellement une première, puis plus tard une seconde fois en dedans de la première. Des trois assises ainsi formées, l'externe demeure ordinairement simple; quelquefois elle se dédouble tangentiellement une ou plusieurs fois et constitue ce qu'on appelle le voile. La seconde demeure quelquefois simple, et d'ordinaire plisse ses parois latérales et transverses en les subérifiant ou les lignifiant; assez souvent elle se dédouble une ou plusieurs fois vers l'extérieur, et c'est seulement son assise externe qui plisse ses membranes en les subérifiant; dans tous les cas, elle constitue la zone corticale externe. La troisième se dédouble tangentiellement un plus ou moins grand nombre de fois vers l'intérieur, puis d'ordinaire plisse en les subérifiant ou les lignifiant les parois radiales et transverses de son assise la plus interne, qui est l'endoderme; elle constitue la zone corticale interne.

Au-dessous du niveau où l'épiderme se sépare de l'écorce, niveau qui est la base commune de ces deux régions, l'épistèle se cloisonne tangentiellement; son assise externe se met dans le prolongement de l'épiderme; ses autres assises prolongent de même les diverses assises corticales; son assise interne, en particulier, plisse en les subérifiant ou les lignifiant ses cloisons radiales et transverses, prolonge par conséquent l'endoderme en conservant ses caractères, et tout à la base le raccorde à l'endoderme de la racine mère par l'intermédiaire des cellules triplissées. Souvent l'épistèle va s'amincissant vers le bas et s'y réduit à cette seule assise plissée. Dans les Pon-

lédériacées et le *Pistia*, l'épistèle se termine au sommet et s'y cloisonne comme l'écorce dans le cas normal.

Le cylindre central se termine par une ou deux initiales, qui se cloisonnent transversalement et latéralement en direction basifuge; bientôt s'y différencient de la base au sommet les divers tissus constitutifs, et notamment le péricycle, qui n'est jamais continu au sommet.

Quand la racine mère a plus de deux faisceaux ligneux et libériens, ce qui est le cas de beaucoup le plus fréquent, même dans la racine terminale, chez les Monocotylédones, si le péricycle est continu, l'arc rhizogène appuie son milieu contre un faisceau ligneux; les radicelles sont donc disposées en autant de séries longitudinales qu'il y a de faisceaux ligneux. Si le péricycle est interrompu ou réduit en face des faisceaux ligneux, l'arc rhizogène appuie son milieu contre un faisceau libérien; les radicelles sont disposées en autant de séries que de faisceaux libériens. Dans les deux cas, elles sont isostiques. Quand le nombre des faisceaux ligneux et libériens se réduit à deux, ce qui est rare dans cette classe, l'arc rhizogène est situé d'un côté d'un faisceau ligneux; les radicelles sont disposées en quatre séries équidistantes ou rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux; elles sont diplostiques.

Autour de la radicelle ainsi produite et disposée, l'endoderme de la racine mère se développe en une poche digestive, simple dans toute son étendue, ou simple à la base et composée au sommet, ou composée dès la base. Cette poche est très rarement éphémère (*Pandanus*, *Hemerocallis*); presque toujours elle persiste jusqu'après la sortie. A ce moment, elle est tantôt digérée circulairement à la base, tantôt incorporée à la base et digérée circulairement un peu plus haut, tantôt incorporée jusqu'au niveau même où elle se détache par glissement. Dans tous les cas, elle est entraînée au sommet en forme de bonnet. La coiffe qui entoure la radicelle à sa sortie, c'est-à-dire l'ensemble des parties caduques de la radicelle (voy. p. 11), se compose donc presque toujours de deux choses, savoir : du bonnet de la poche digestive et de la calyptre,

c'est-à-dire de l'ensemble des assises de l'épiderme composé, moins l'assise interne. Quand la poche est éphémère, la coiffe se réduit à la calyptre (*Pandanus*, *Hemerocallis*). Quand l'épiderme fait défaut (Pontédériacées, *Pistia*), ou quand il demeure simple (*Hydrocharis*), il n'y a pas de calyptre, et la coiffe se réduit à la poche. Celle-ci est alors tout entière caduque (Pontédériacées) ou laisse après sa chute son assise interne adhérer au corps de la racine (*Pistia*).

Si maintenant nous comparons les résultats généraux obtenus ainsi chez les Monocotylédones à ceux que nous ont donnés les Dicotylédones (p. 270), nous constatons que le phénomène est le même dans ces deux classes et que les modifications secondaires qu'il y subit sont de même ordre, les unes seulement plus fréquentes dans une classe, les autres plus fréquentes dans l'autre. C'est ainsi, par exemple, que la poche manque bien plus souvent chez les Dicotylédones que chez les Monocotylédones. C'est ainsi encore que l'épistèle, qui ne manque presque jamais chez les Dicotylédones, est d'ordinaire beaucoup plus développée chez les Monocotylédones, circonstance qui permet à une exception comme celle des Pontédériacées et du *Pistia* de se produire ici, tandis que là elle était sans exemple.

C'est seulement plus tard, après la sortie des radicelles, dans la manière dont, la poche une fois tombée, s'opère la desquamation de l'épiderme composé, que se montre entre les Dicotylédones et les Monocotylédones la différence importante que l'on connaît. Chez les Dicotylédones, l'assise la plus interne de l'épiderme composé échappe à la desquamation, et, une fois mise à nu par la chute des autres assises qui constituent la calyptre, devient l'assise pilifère, tandis que l'exoderme sous-jacent plisse d'ordinaire et subérifie ou lignifie ses membranes de manière à ressembler à l'endoderme. Chez les Monocotylédones, l'assise la plus interne de l'épiderme composé s'exfolie comme les autres; tout l'épiderme y est caduc et constitue la calyptre. L'exoderme mis à nu devient l'assise pilifère, et c'est la seconde assise de l'écorce qui plisse et

subérifie ou lignifie ses membranes de manière à ressembler à l'endoderme. En un mot, les Dicotylédones sont climacorhizes, tandis que les Monocotylédones sont liorhizes. Encore ce caractère différentiel, c'est-à-dire la desquamation incomplète ou complète de l'épiderme composé, est-il sujet à une double exception. Parmi les Dicotylédones, en effet, les Nymphéacées desquament complètement leur épiderme. Parmi les Monocotylédones, l'*Hydrocharis* garde son épiderme adhérent. En sorte qu'on ne saurait invoquer désormais, pour séparer ces deux classes de plantes, aucun caractère général tiré du mode de formation ou de croissance des radicelles.

On voit donc, en définitive, qu'il n'y a, dans toute l'étendue du sous-embranchement des Angiospermes, qu'un seul type pour la formation des radicelles.

CHAPITRE III

RADICELLES DES GYMNOSPERMES

Conifères (pl. XXIV, fig. 376-385). — La formation des radicelles chez les Conifères a été étudiée d'abord, en 1872, par M. Strasburger dans les *Phyllocladus*, *Taxus* et *Sequoia* (1), puis, en 1874, par M. de Janczewski dans les *Pinus* et *Abies* (2). On sait par là que la radicelle s'y fait tout entière dans le péricycle de la racine mère et l'on admet que l'endoderme de la racine mère ne prend aucune part à sa constitution.

Nous avons de notre côté suivi la formation des radicelles dans bon nombre de genres de cette famille, et nous allons résumer brièvement nos observations en examinant d'abord les Cupressées, puis les Taxées et en dernier lieu les Pinées.

La racine terminale du *Cupressus* (*C. sempervirens*, *C. funebris*, *C. Lindleyana*) a, sous l'assise pilifère, cinq à huit assises corticales, dont la dernière est un endoderme à plisse-

(1) Strasburger, *Die Coniferen und die Gnetaceen*, 1872, p. 348, fig. 27 et 28.

(2) Janczewski, *loc. cit.*, 1874, p. 59.

ments occupant toute la largeur des faces radiales. L'avant-dernière assise corticale porte, sur les parois radiales et transverses, une forte bande d'épaississement lignifiée, encadrant chaque cellule; ensemble tous ces cadres forment un puissant réseau de soutien, tout pareil à celui des Rosacées (p. 192) et des Caprifoliacées (p. 263). Ce réseau sus-endodermique a été décrit par l'un de nous dans un grand nombre de Conifères dès l'année 1871 (1). Le cylindre central a un péricycle simple, quelquefois double en face des faisceaux ligneux, deux faisceaux ligneux plurisériés, qui confluent au centre en une bande diamétrale, et deux faisceaux libériens alternes formés d'éléments larges en dehors, étroits en dedans; ces derniers sont séparés de la lame vasculaire par deux rangs de cellules conjonctives dont l'externe deviendra l'assise génératrice du liber et du bois secondaires.

L'arc péricyclique rhizogène comprend cinq ou six cellules, situées toutes ou presque toutes du même côté d'un faisceau ligneux; ces cellules s'allongent radialement, puis se divisent toutes par une cloison tangentielle. L'assise interne constitue le cylindre central et se divise rapidement par des cloisons transversales. L'assise externe prend ensuite une nouvelle cloison tangentielle, qui sépare l'écorce de l'épiderme; cette cloison ne laisse en dehors d'elle qu'une cellule de chaque côté, de sorte que l'épistèle est peu développée (fig. 376). Aussitôt séparé, l'épiderme se divise rapidement par des cloisons tangentielles centripètes, qui commencent très près du bord; après quoi, chaque assise se dédouble de nouveau une ou plusieurs fois; il s'épaissit donc de bonne heure dans toute son étendue. L'écorce, au contraire, ne se divise que tardivement et peu (fig. 378).

Le mamelon ainsi constitué se dirige dans l'écorce en faisant une déviation de 40 à 45 degrés; toutes les radicelles primaires sont donc insérées sur le pivot en quatre séries lon-

(1) Pour la structure de la racine des Conifères, voy. Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 187, 1871) et Strasburger, *loc. cit.*, p. 340 et suiv., 1872.

gitudinales équidistantes ou faiblement rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. En s'accroissant dans cette direction, la jeune radicelle dilate l'arc d'endoderme superposé, qui divise ses cellules par des cloisons radiales, et qui l'enveloppe d'une poche digestive simple. Cette poche attaque d'abord l'assise sus-endodermique, dont les cadres épaissis s'amincissent et s'effacent complètement avant la résorption des membranes qui les portent (fig. 376); puis elle digère progressivement une à une toutes les autres assises corticales. Un peu avant la sortie, elle est résorbée autour de la base et soulevée en forme de bonnet (fig. 378). A ce moment, l'épiderme de la radicelle compte au sommet sept à dix assises plus ou moins enchevêtrées. Au-dessous de lui, entre son bord interne et le sommet du cylindre central, on voit l'initiale ou la paire d'initiales de l'écorce, parfois accompagnée de chaque côté par un ou plusieurs segments indivis; plus bas, l'écorce ne s'est encore divisée que deux fois et son assise interne se raccorde avec l'endoderme de la racine mère par l'intermédiaire des cellules triplissées.

Quand le péricycle est double en face des faisceaux ligneux, il accroît radialement et cloisonne ses deux assises (fig. 378). Mais c'est le rang externe seul qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare, comme il vient d'être dit, les initiales des trois régions, et qui constitue non seulement l'épiderme et l'écorce, mais encore la périphérie du cylindre central; l'assise interne ne donne que la partie basilaire et interne du cylindre.

Il n'est pas rare, comme on sait, de rencontrer dans un semis de *Cupressus* des plantules dont la racine terminale est ternaire et dont la tigelle porte trois cotylédons. Dans ces plantules, la radicelle naît comme il a été expliqué plus haut, avec cette seule différence que l'arc rhizogène pose son milieu sur un faisceau ligneux et que toutes les radicelles sont par conséquent disposées en trois séries longitudinales. La figure 378 a été prise précisément dans un de ces pivots ternaires, où le péricycle était double en face des faisceaux ligneux.

Quand un pivot est binaire, il arrive que l'arc rhizogène chevauche plus ou moins sur le faisceau ligneux correspondant, ce qui diminue la déviation. Qu'il se forme alors deux radicelles au même niveau en correspondance avec le même faisceau ligneux, elles se fusionneront en une radicelle double, plus grosse que les radicelles ordinaires, et située exactement en face du faisceau ligneux.

Outre le réseau sus-endodermique très épais, la racine du *Juniperus virginiana* (fig. 376) a toutes ses cellules corticales, à l'exception de l'assise pilifère et des deux assises sous-jacentes, munies sur chaque face latérale d'une bande d'épaississement moins saillante qui confluent souvent en croix sur les faces transverses. En d'autres termes, le réseau de soutien envahit dans cette plante la presque totalité de l'écorce. Le péricycle y est simple tout autour. S'il y a trois faisceaux, les radicelles naissent en face des faisceaux ligneux; si la structure est binaire, elles se forment latéralement et sont disposées en quatre rangées (fig. 376). Dans tous les cas, l'arc péricyclique, comprenant, par exemple, six cellules, accroît radialement ses éléments et les cloisonne tangentiellement deux fois, pour séparer les trois régions de la radicelle avec l'épistèle. En même temps l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et forme autour du mamelon une poche digestive simple, qui demeure telle jusqu'à la sortie. Cette poche digère d'abord l'assise sus-endodermique avec son réseau, puis les autres assises corticales avec leurs bandes épaissies. A la sortie, l'épiderme, moins épais que dans les *Cupressus*, n'a que quatre assises au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales, est double à la base. L'épistèle est assez développée (fig. 376).

Dans la racine de l'*Actinostrobus pyramidalis* (fig. 377), l'assise sus-endodermique, ainsi que les deux ou trois assises corticales situées en dehors d'elle, sont pourvues de bandes d'épaississement sur leurs faces latérales, mais seulement en face des faisceaux libériens. Le réseau de soutien sus-endodermique est donc composé, mais largement interrompu en face

des faisceaux ligneux. Le péricycle y est simple tout autour. Si la racine est binaire, l'arc rhizogène comprend huit cellules, situées, par exemple, cinq d'un côté d'un faisceau ligneux, trois de l'autre côté (fig. 377) ; la déviation de la radicelle est alors assez faible. Ces cellules s'accroissent radialement et se cloisonnent tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions et l'épistèle. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et forme une poche simple, qui attaque et digère toute la portion d'écorce située en dehors de la radicelle, portion qui est dépourvue de bandes épaissies.

Outre le réseau sus-endodermique, la racine du *Frenela australis* développe des bandes moins épaisses sur toutes ses cellules corticales, à l'exception des trois assises périphériques. Le cylindre central a quatre faisceaux ligneux et quatre faisceaux libériens autour d'une moelle. Le péricycle y est triple en face des faisceaux ligneux, double ou triple et formé de cellules aplaties en dehors des faisceaux libériens. L'arc rhizogène, dont le milieu répond à un faisceau ligneux, accroît bien ses trois rangs de cellules ; mais c'est le rang externe seul qui, par deux cloisonnements tangentiels successifs, sépare l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central ; les deux autres ne donnent que la partie inférieure, au début la plus développée, du cylindre. Quelquefois cependant il semble que la limite entre le cylindre central et l'écorce corresponde exactement à la ligne de séparation de la seconde et de la première assise péricyclique. L'initiale du cylindre central proviendrait alors du second rang, celles de l'écorce et de l'épiderme du premier rang. De pareilles variations ont été signalées déjà, à plusieurs reprises, chez les Dicotylédones. L'arc d'endoderme superposé accroît ses cellules et forme autour de la radicelle une poche digestive simple, résorbée autour de la base avant la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle est très épais latéralement et au sommet, où il compte environ vingt assises. Son écorce, terminée par deux initiales aplaties, n'a que quatre ou cinq assises à la base, où elle est d'ailleurs assez difficile à bien délimiter.

La racine des *Araucaria* (*A. excelsa*, *brasiliana*) possède également des cadres épaissis, non seulement dans l'assise sus-endodermique, mais encore dans toutes les assises de la zone corticale interne (fig. 379). Le cylindre central a deux faisceaux ligneux et deux faisceaux libériens alternes renfermant chacun trois ou cinq canaux sécréteurs résinifères. Le péricycle y est le plus souvent quadruple tout autour. L'arc rhizogène comprend, par exemple, neuf cellules dans le rang externe, situées ordinairement toutes du même côté d'un faisceau ligneux, entre lui et le canal sécréteur libérien le plus voisin. Toutes ces cellules s'accroissent, mais celles du rang externe s'allongent radialement plus que les autres et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent le sommet et la périphérie du cylindre central, l'écorce et l'épiderme; celles des trois autres rangs ne produisent que la région basilaire et interne du cylindre (fig. 379). L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les divise par des cloisons radiales et forme une poche digestive simple, qui demeure telle jusqu'à la sortie. A ce moment, l'épiderme est très épais et composé d'au moins douze assises au sommet. Au-dessous de lui, on voit l'initiale ou la paire d'initiales de l'écorce, surmontant l'initiale du cylindre central.

L'arc rhizogène chevauche quelquefois notablement sur le faisceau ligneux; si alors deux radicelles viennent à naître au même niveau en correspondance avec le même faisceau, elles s'unissent en une radicelle double, plus grosse que les autres et située exactement en face de la bande vasculaire diamétrale.

Toutes les Cupressées étudiées jusqu'ici ont leurs radicelles pourvues d'une poche digestive. Il n'en est pas de même dans les *Sequoia*. Une racine de *Sequoia gigantea* possède, outre son réseau sus-endodermique, des cadres d'épaississement sur toutes ses assises corticales, à l'exception des trois externes, c'est-à-dire de l'assise pilifère et de l'assise subéreuse dédoublée. Le cylindre central a un péricycle simple, trois faisceaux ligneux et trois faisceaux libériens.

L'arc péricyclique rhizogène comprend quatre cellules, deux de chaque côté d'un faisceau ligneux. Ces cellules s'accroissent radialement et se cloisonnent tangentiellement à deux reprises pour séparer les trois régions de la radicelle. L'endoderme superposé se dilate d'abord un peu et suit le mamelon; mais bientôt ses cellules s'aplatissent, se résorbent et le mamelon se met en contact avec l'assise sus-endodermique. Celle-ci disparaît à son tour, après avoir d'abord dissous ses bandes épaissies, et la radicelle attaque ensuite toutes les autres assises corticales. Il n'y a donc pas de poche digestive, si ce n'est tout à fait au début, et c'est directement, par la surface de son épiderme, que la radicelle digère l'écorce. En même temps l'assise périphérique de l'épiderme composé subit une modification particulière. Ses cellules produisent notamment de la résine, qui s'y amasse et les remplit peu à peu. Dans ces racines ternaires, on voit quelquefois la radicelle naître latéralement par rapport à un faisceau ligneux; c'est qu'on se trouve alors non loin de l'endroit où la radicelle, en perdant un de ses faisceaux ligneux, va devenir binaire. Ici, comme on l'a vu maintes fois chez les Dicotylédones, la disposition diplostique propre à la structure binaire devance l'apparition de cette structure.

Passons maintenant aux Taxées.

La racine terminale du *Ginkgo biloba* a, dans son cylindre central, six faisceaux ligneux disposés en un rectangle allongé autour d'une moelle, quatre aux sommets et deux au milieu des grands côtés. Un péricycle épais, composé de huit à dix assises, les sépare de l'endoderme, lequel est renforcé par un puissant réseau sus-endodermique souvent double. Le reste de l'écorce est dépourvu de bandes et l'assise pilifère développe en longs poils la plupart de ses cellules (1). Les radi-

(1) On sait que les poils radicaux sont peu développés chez les Conifères, qui passent même à tort pour en être entièrement dépourvues. M. Strasburger dit qu'ils manquent totalement dans les *Thuia*, *Sequoia*, *Araucaria*, qu'ils sont rares dans les *Pinus* et qu'ils ne sont développés en grand nombre que dans le *Taxus* (*loc. cit.*, p. 343, 1872). Au cours de ces recherches, nous les

celles se forment vis-à-vis des faisceaux ligneux, en six rangées par conséquent, dont quatre rapprochées deux par deux. Les initiales des trois régions procèdent exclusivement du cloisonnement de l'assise péricyclique externe. Dans les radicelles primaires, le cylindre central est binaire et le péricycle n'a que trois assises en face des faisceaux ligneux confluents; les radicelles secondaires y naissent de chaque côté des faisceaux ligneux, en quatre séries par conséquent, et c'est encore l'assise péricyclique externe qui découpe les initiales de leurs trois régions. Primaire ou secondaire, la jeune radicelle est enveloppée par une poche digestive simple, issue de l'endoderme de la racine mère, qui l'accompagne jusqu'à la sortie et qui attaque d'abord le réseau sus-endodermique, puis tout le reste de l'écorce.

La racine terminale du *Taxus baccata* a, sous l'assise pilifère, dont les cellules se prolongent çà et là en longs poils, une vingtaine d'assises corticales, dont l'avant-dernière porte un fort réseau de soutien, et la dernière, qui est l'endoderme, est munie de larges plissements. Le cylindre central a un péricycle double ou triple, deux faisceaux ligneux et deux faisceaux libériens (fig. 380). L'arc rhizogène comprend, par exemple, onze cellules dans son assise externe, huit ou neuf d'un côté du faisceau ligneux, trois ou deux seulement de l'autre côté. Il accroît ses deux ou trois assises, mais c'est l'assise externe seule qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare l'épiderme, l'écorce et la périphérie du cylindre central; l'autre ou les deux autres ne donnent que la partie inférieure du cylindre. Au début, l'arc d'endoderme superposé suit la croissance du mamelon, mais bientôt ses cellules s'aplatissent et sont résorbées; la radicelle attaque alors l'assise sus-endodermique avec ses bandes épaissies, puis successivement toutes les assises corticales. Il n'y a pas ici de poche

avons observés en grand nombre dans les *Ginkgo*, *Phyllocladus*, *Taxus*, *Cephalotaxus*, *Prumnopitys*, *Pinus* (notamment *P. Strobus*), *Picea* (notamment *P. excelsa*), etc. Nous les avons trouvés aussi très développés dans les Cycadées (*Cycas*, *Zamia*, *Ceratozamia*, *Macrozamia*, etc.).

digestive, et c'est l'épiderme, rapidement cloisonné et épaissi, qui digère directement l'écorce (fig. 380). Aussi, comme dans les *Sequoia*, son assise externe se modifie-t-elle bientôt en sécrétant de la résine. A la sortie, l'épiderme compte une quinzaine d'assises au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales ou par une initiale avec un segment indivis, s'est divisée trois ou quatre fois à la base. L'épistèle est peu développée.

Entre l'assise pilifère, qui prolonge en poils beaucoup de ses cellules, et l'endoderme, qui est muni de larges plissements, l'écorce de la racine du *Phyllocladus trichomanoides* a toutes ses cellules pourvues de fines bandes d'épaississement spiralées et réticulées, sans prédominance bien marquée d'un réseau sus-endodermique. Le cylindre central a un péricycle triple avec deux faisceaux ligneux et libériens. L'arc rhizogène, situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux, accroît ses trois rangs de cellules, mais c'est le rang externe seul qui découpe les initiales des trois régions. L'endoderme superposé se résorbe de bonne heure, et c'est l'assise externe de l'épiderme qui attaque et digère l'écorce ; cette assise se modifie et se résinifie comme dans le *Taxus* et le *Sequoia*. A la sortie, l'épiderme compte huit à dix assises au sommet. Au-dessous de lui se distingue l'initiale de l'écorce, accompagnée de chaque côté par un ou deux segments indivis, et surmontant l'initiale du cylindre central.

Dans la racine des *Podocarpus* (*P. japonicus*, *latifolius*, *neriifolius*), l'écorce est également munie dans toute son épaisseur de bandes spiralées et réticulées ; sur l'avant-dernière assise, il y a prédominance plus ou moins marquée d'une de ces bandes sur les faces latérales et transverses, et tendance à la formation d'un réseau sus endodermique. Le cylindre central y est également binaire, avec péricycle triple ou quadruple en face des faisceaux ligneux. La radicelle s'y produit de la même manière, avec une déviation d'environ 40 degrés, aux dépens du rang péricyclique externe, sans poche digestive et avec résinification de l'assise externe ou des

deux assises externes de l'épiderme. A la sortie, l'épiderme compte huit à dix assises au sommet. L'écorce a une initiale avec un segment indivis de chaque côté. Le cylindre central a deux initiales.

Les radicelles avortées et renflées en petits tubercules qui se succèdent en grand nombre sur les racines de ces plantes (*P. latifolius*, *neriifolius*) ont la même origine : elles ont aussi la même disposition en quatre séries, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. Seulement elles s'arrêtent de très bonne heure dans leur développement (fig. 385). Après la séparation du cylindre central, de l'écorce et de l'épiderme, l'assise épidermique se cloisonne rapidement de dehors en dedans dans toute son étendue et forme une couche épaisse qui constitue la masse du tubercule. Cette couche agrandit beaucoup ses cellules et les couvre de bandes spiralées et réticulées, à l'exception de l'assise externe qui demeure lisse et subérifie sa membrane, ou qui se dédouble en résinifiant sa moitié externe. Aucune de ces assises ne se détache des autres après la sortie; malgré l'épaisseur de leur épiderme, ces radicelles tuberculeuses n'ont donc pas de calyptre. L'assise corticale demeure simple dans toute son étendue ou ne se dédouble qu'à la base; bientôt elle plisse et subérifie ses membranes, de manière à former un endoderme continu au sommet, qui représente à lui seul toute l'écorce de la radicelle (fig. 385). Dans le cylindre central, le péricycle est aussi continu au sommet; plus tard, il passe à l'état d'assise génératrice et produit un périderme qui exfolie la portion corticale et épidermique du tubercule, et annexe à la racine mère le petit moignon formé par le cylindre central. Sous ce péricycle, se terminent les vaisseaux par des cellules peu allongées ou même isodiamétriques, munies de spires et de ponctuations aréolées (1).

(1) A voir le parenchyme du tubercule muni des mêmes ornements spiralés que l'écorce de la racine mère, on pourrait croire qu'il représente aussi l'écorce de la radicelle, écorce qui serait terminée en dedans par l'assise plissée et recouverte en dehors par un épiderme subérifié demeuré simple. Mais cette

La racine du *Prumnopitys elegans* a aussi toutes ses cellules corticales, entre l'assise pilifère et l'endoderme, munies de fines bandes épaissies, anastomosées en réseau. L'endoderme est formé par de très petites cellules à larges plissements peu marqués. Le cylindre central a quatre faisceaux ligneux autour d'une moelle, quatre faisceaux libériens contenant chacun trois canaux sécréteurs vers son bord externe, et un péricycle ordinairement triple en face des faisceaux ligneux. L'arc rhizogène, dont le milieu correspond à un faisceau ligneux, accroît beaucoup radialement ses trois rangs de cellules; mais c'est le rang externe seul qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare en dedans la périphérie du cylindre central avec son initiale, au milieu l'écorce, en dehors l'épiderme. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les cloisonne radialement et forme autour de la radicelle une poche simple qui persiste jusqu'à la sortie. A ce moment, l'épiderme a une vingtaine d'assises au sommet. Au-dessous de lui se voient côte à côte les deux initiales de l'écorce, qui surmontent l'initiale unique du cylindre central.

Par l'existence d'une poche digestive, mais surtout par les canaux sécréteurs libériens qui la font ressembler aux *Araucaria*, cette plante s'éloigne des *Podocarpus* auxquels MM. Bentham et Hooker l'ont rattachée. Elle doit, sans doute, constituer un genre à part.

Considérons en dernier lieu les Pinées.

La racine terminale du *Pinus Pinea* a, sous l'assise pilifère, une douzaine d'assises corticales dont la dernière est un endoderme à larges plissements et dont l'avant-dernière est dépourvue de réseau. Cet appareil de soutien, qui prend des formes si variées chez les Cupressées et les Taxées, fait défaut, comme on sait, aux Pinées. Le cylindre central a un péricycle de trois à cinq assises tout autour, quatre faisceaux ligneux contenant chacun un canal sécréteur dans son bord

manière d'envisager les choses est contredite par l'étude du développement, aussi bien que par la comparaison avec les radicelles ordinaires.

externe creusé en gouttière ou reployé en tube, quatre faisceaux libériens alternes et une large moelle (1). Quand le faisceau ligneux est creusé en gouttière, il faut, sans doute, encore lui attribuer les deux rangées de cellules qui bordent en dehors le canal sécréteur, car ces deux rangées se différencient en vaisseaux quand le faisceau se replie en tube ; le péricycle est donc moins épais qu'il n'en a l'air.

L'arc rhizogène comprend sept à neuf cellules de largeur et son milieu correspond à un faisceau ligneux, qui demeure toujours ouvert en gouttière ou même ne s'échancre pas à son niveau (fig. 383). Ce sont les cellules de la seconde rangée péricyclique qui s'allongent radialement plus que les autres, et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent d'abord le sommet du cylindre central avec son initiale, puis l'écorce et l'épiderme. Les assises internes, même celles qui bordent le canal et qui sont attribuables au faisceau ligneux, comme il vient d'être dit, s'accroissent aussi radialement et se cloisonnent, mais ne produisent que la région inférieure du cylindre central. Quant à l'assise péricyclique externe, elle agrandit ses cellules, les divise par des cloisons radiales et aussi plusieurs fois par des cloisons tangentielles, formant ainsi autour de la radicelle une poche spéciale, d'origine péricyclique, fait dont nous n'avons pas encore rencontré d'exemple jusqu'à présent (fig. 383). L'arc d'endoderme superposé dilate d'abord un peu ses cellules, mais ne tarde pas à se résorber, et c'est désormais par la poche péricyclique qui l'entoure que la radicelle attaque et digère l'écorce pour s'échapper. Il n'y a pas ici de poche digestive endodermique, mais cette poche est suppléée dans son rôle par une poche digestive péricyclique. A la sortie, l'épiderme de la radicelle n'a sous cette poche que quatre ou cinq assises au sommet. L'écorce a une ou deux initiales, qui surmontent l'initiale unique du cylindre central.

(1) On sait que, suivant les individus, le nombre des faisceaux varie de quatre à sept dans cette espèce (Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine*, p. 200, 1871).

Même formation des radicelles dans une racine terminale à cinq faisceaux de *Pinus maritima* (fig. 381), dans une racine terminale à trois faisceaux de *Pinus Strobus* (fig. 382). Sous l'assise pilifère, prolongée çà et là en poils, l'écorce de ces deux plantes ne compte que cinq assises, dont la dernière est un endoderme largement plissé. Le péricycle y a, en dehors du canal sécréteur, au moins cinq asssises, dont l'externe forme la poche digestive et dont la seconde donne les trois régions avec leurs initiales, tandis que les trois autres ne produisent que la base du cylindre.

On sait que le *Pinus silvestris* et le *P. Strobus* produisent çà et là des radicelles courtes, ramifiées en dichotomie et formant de petits pelotons tuberculeux. Elles prennent naissance dans le péricycle à la même place et de la même manière que les radicelles normales. Ce sont des radicelles polystéliques arrêtées dans leur croissance, comparables à celle des Légumineuses (p. 188).

La racine terminale du *Picea excelsa* a, sous l'assise pilifère prolongée çà et là en poils courts, cinq assises corticales dont la dernière est un endoderme à larges plissements. Le cylindre central a un péricycle quadruple, trois faisceaux ligneux confluents au centre et dépourvus de canaux sécréteurs, et trois faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène, dont le milieu répond à un faisceau ligneux, accroît ses quatre assises, mais c'est la seconde seule qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare le sommet du cylindre central, l'écorce et l'épiderme (fig. 384). L'externe produit une poche digestive péricyclique et les internes forment la base du cylindre central. L'endoderme est digéré de bonne heure; il n'y a pas de poche d'origine endodermique.

Par la formation de cette poche digestive péricyclique, les Pinées se distinguent non seulement des Cupressées et des Taxées, mais encore de toutes les Angiospermes.

En résumé, si l'on met à part cette différence qui n'est après tout que secondaire, on voit que la formation des radicelles s'opère essentiellement de la même manière chez toutes les

Conifères et qu'elle se rattache au même type général que celle des Angiospermes. La radicelle y est, en effet, composée de trois régions et ces trois régions procèdent du péricycle simple, ou de l'une des assises du péricycle composé, par deux cloisonnements tangentiels successifs, dont le premier sépare le cylindre central, tandis que le second isole l'écorce et l'épiderme, en laissant à la base une épistèle ordinairement peu développée.

Après la sortie, la poche une fois exfoliée quand elle existe, l'épiderme détache ses assises externes dont l'ensemble forme la calyptre, et les régénère à mesure en dedans. Mais il garde adhérente à l'écorce son assise interne, taillée en escalier, qui devient l'assise pilifère. Les choses se passent donc sous ce rapport comme chez les Dicotylédones, non pas comme chez les Monocotylédones; en un mot, les Conifères sont des climacorhizes (p. 130).

Ce n'est pas tout à fait ainsi que M. Strasburger et M. de Janczewski ont compris les choses. Rappelons d'abord que tous les auteurs qui ont étudié la structure du sommet de la racine des Conifères, M. Reinke, M. Strasburger, M. de Janczewski et M. Flahault, s'accordent pour admettre que tout le tissu situé au-dessus du sommet du cylindre central constitue l'écorce, tandis que l'épiderme et la calyptre font ici complètement défaut. De là une différence, qui serait fondamentale, entre la racine de ces plantes et celle des Angiospermes d'une part, des Cryptogames vasculaires de l'autre, différence qui justifierait l'établissement d'un type distinct. Il ne leur a pas échappé pourtant que cette « écorce » présente au sommet, dans la presque totalité de son épaisseur, la plus grande ressemblance avec une épaisse calyptre d'Angiosperme. M. de Janczewski dit même à ce sujet: « Selon nous, la *partie apicale de l'écorce* de ces plantes a beaucoup d'analogie avec la *coiffe* de l'*Helianthus*. Toutes les deux possèdent une structure et un développement semblables et s'exfolient de la même manière... En considérant la valeur physiologique de ces deux productions, leur ressemblance devient encore plus frap-

pante » (*loc. cit.*, p. 30). Mais cette ressemblance ne les a pas arrêtés. M. Flahault reconnaît cependant que l'épiderme de la tigelle de l'embryon prend un grand nombre de cloisons tangentielles et forme autour du sommet une grande partie, souvent même la plus grande partie de l' « écorce » (*Biota*, *Cupressus*, *Cedrus*) (*loc. cit.*, p. 157). Cette partie-là tout au moins constitue donc bien un épiderme composé, c'est-à-dire plus tard une calyptre.

Les choses étant ainsi admises pour la racine, on comprend que M. Strasburger et M. de Janczewski aient transporté cette manière de voir dans l'étude des radicelles. Dans la radicelle aussi, tout ce qui est en dehors du cylindre central est pour eux l' « écorce », une « écorce », il est vrai, « d'un aspect tout spécial, semblable à la coiffe du Tournesol, par exemple » (*loc. cit.*, p. 59). Il n'y a pas d'épiderme. Il en résulte, suivant ces auteurs, pour la formation des radicelles des Conifères un type à part, type qui, pour M. de Janczewski, vient s'ajouter aux quatre qu'il avait déjà cru devoir distinguer chez les Angiospermes. On a montré plus haut que ces quatre types n'en font qu'un; on voit maintenant qu'il en est de même du cinquième.

Cycadées (pl. XXIV, fig. 386-387). — Une racine de *Cycas circinalis* a, sous l'assise pilifère prolongée çà et là en poils et sous l'assise subéreuse munie de larges plissements très nets, une vingtaine d'assises corticales, dont la dernière est un endoderme à larges plissements occupant toute l'étendue des faces radiales et transverses. Une ou deux des assises corticales internes, séparées de l'endoderme par deux assises ordinaires, portent sur leurs faces latérales et transverses de larges et fortes bandes d'épaississement, dont l'ensemble constitue un réseau de soutien analogue à celui des Conifères (fig. 387). Le cylindre central elliptique a un péricycle de quatre assises d'épaisseur, deux faisceaux ligneux non confluents disposés suivant le grand axe de l'ellipse et deux faisceaux libériens alternes qui renferment des fibres isolées ou par petits groupes.

L'arc rhizogène comprend huit à dix cellules de largeur dans le rang externe, situées toutes ou presque toutes du même côté d'un faisceau ligneux, de sorte que la radicelle se dirige à travers l'écorce avec une déviation de 40 à 45 degrés, et que toutes les radicelles sont disposées sur quatre rangées presque équidistantes (fig. 386). Toutes les assises de l'arc accroissent et cloisonnent leurs cellules, mais c'est l'assise externe qui les allonge le plus radialement et qui seule sépare, par deux cloisons tangentielles successives, les initiales des trois régions; les autres rangées ne produisent que la base du cylindre central. Autour du mamelon ainsi formé, non seulement l'endoderme, mais encore une ou deux des assises corticales internes, dilatent leurs cellules et les divisent par des cloisons radiales, de manière à constituer une poche digestive double ou triple dès la base et qui persiste jusqu'à la sortie. A ce moment, l'épiderme de la radicelle s'est cloisonné trois ou quatre fois au sommet sous cette poche épaisse. Son écorce, terminée par deux initiales, ne s'est divisée que deux fois vers le bas, où s'opère le raccord des deux endodermes par les cellules triplissées. Dans cette région inférieure, l'endoderme de la racine mère reployé en poche et celui de la radicelle ne sont séparés l'un de l'autre que par deux assises de cellules.

Même structure binaire de la racine avec péricycle ordinairement quadruple et même formation quadrisériée des radicelles avec poche digestive épaisse, à la fois endodermique et corticale, dans les autres *Cycas* (*C. revoluta*, *C. neocaledonica*), ainsi que dans les *Zamia* (fig. 386) (*Z. Fischeri*, *cycadifolia*, *Yalisii*, *muricata*, *Ottonis*), *Macrozamia* (*M. corallina*), *Ceratozamia* (*C. Kusteriana*, *mexicana*), *Encephalartos* (*E. Morei*), *Dioon* (*D. edule*). Entre ces diverses plantes, les différences sont tout à fait secondaires; ce qui varie,, c'est surtout le degré de cloisonnement tangentiel et d'épaisseur de l'épiderme de la radicelle au sommet et de son écorce à la base au moment de la sortie; c'est aussi le degré de différenciation de ses trois sortes d'initiales.

Nous n'avons trouvé jusqu'à présent de réseau de soutien cortical que chez le *Cycas circinalis*, comme il a été dit plus haut, et chez le *Dioon edule*. Dans cette dernière plante, un assez grand nombre de cellules corticales, isolées ou rapprochées en groupes et en portions d'assises concentriques, portent sur chaque face latérale une bande très épaisse, et toutes ces bandes confluent en étoile sur les faces transverses. Par contre, il se fait quelquefois dans l'écorce soit des fibres isolées ou groupées par deux ou trois (*Zamia Fischeri*, *Macrozamia corallina*, *Encephalartos Morei*), soit des cellules épaissies seulement sur les faces externes et latérales (*Ceratozamia Kusteriana*).

Une racine ternaire de *Zamia cycadifolia* produit encore ses radicelles de la même manière, avec cette seule différence que l'arc rhizogène a son milieu situé en face d'un faisceau ligneux et que les radicelles sont disposées par conséquent en trois séries longitudinales.

On sait que les racines des Cycadées produisent çà et là des radicelles courtes et renflées, ramifiées en dichotomie et formant de petits tubercules coralloïdes. Nous en avons étudié l'origine et la structure dans les *Cycas revoluta*, *Zamia Ottonis*, *Ceratozamia mexicana* et *Micheliana*, *Dioon edule*, *Encephalartos Altensteinii*. Partout elles prennent naissance dans le péricycle à la même place et de la même manière que les radicelles normales. Ce sont des radicelles polystéliques, de la même nature que celles des Légumineuses (p. 188) et des Pins (p. 355).

En résumé, les radicelles se forment chez les Cycadées comme chez les Cupressées et chez les Taxées à péricycle composé, avec cette différence qu'il y a toujours ici une poche digestive épaisse, d'origine à la fois endodermique et corticale.

Gnétacées (pl. XXIV, fig. 388). — Dans la racine terminale des *Ephedra* (*E. altissima*, *distachya*, *campylopoda*), le cylindre central a, sous l'endoderme, un péricycle simple, deux faisceaux ligneux qui confluent plus tard en une bande diamétrale

et deux faisceaux libériens alternes. L'arc péricyclique rhizogène comprend, par exemple, neuf cellules, sept d'un côté d'un faisceau ligneux, deux seulement de l'autre côté, en sorte que la radicelle chevauche un peu sur le faisceau ligneux et fait dans l'écorce une déviation de 35 à 40 degrés (fig. 388).
Toutes ensemble les radicelles sont donc insérées en quatre rangées rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux.

Les cellules rhizogènes s'allongent radialement et se cloisonnent tangentiellement deux fois de suite pour séparer d'abord le cylindre central, puis l'écorce et l'épiderme; près quoi les trois régions s'accroissent séparément. L'épistèle est peu développée. Autour du mamelon ainsi constitué, l'endoderme se dilate, cloisonne ses cellules d'abord radialement, puis quatre ou cinq fois tangentiellement, de manière à envelopper la radicelle d'une poche digestive simple à la base, mais très épaisse au sommet, où elle compte six assises au moment de la sortie (fig. 388). C'est cette poche qui digère l'écorce de la racine mère. Au-dessous d'elle, l'épiderme s'est cloisonné trois ou quatre fois au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, ne s'est divisée qu'une fois vers la base, où se fait à travers l'épistèle le raccord des endodermes. Le cylindre central a aussi une seule initiale au sommet.

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE DES GYMNOSPERMES ET COMPARAISON AVEC LES ANGIOSPERMES

En résumé, dans les trois familles de la classe des Gymnospermes, les radicelles se forment essentiellement de la même manière.

La radicelle y procède tout entière du péricycle, et le plus souvent de son assise externe quand il y en a plusieurs. Pour la produire, un arc péricyclique allonge ses cellules radialement et les divise toutes tangentiellement, de manière à séparer en dedans le cylindre central; les cellules externes prennent ensuite une nouvelle cloison tangentielle pour isoler l'écorce

et l'épiderme, à l'exception des cellules extrêmes de l'arc qui restent indivises et forment l'épistèle, ordinairement ici peu développée. Plus tard, l'écorce se cloisonne peu et demeure mince, tandis que l'épiderme se cloisonne abondamment et devient très épais à l'extrémité au moment de la sortie.

L'endoderme de la racine mère est quelquefois digéré de bonne heure; il n'y a pas alors de poche digestive d'origine corticale et la coiffe de la radicelle sortante se réduit à sa calyptre. Mais le plus souvent il se développe autour de la radicelle, qu'il entoure d'une poche digestive, simple ou composée; la coiffe est alors formée d'une poche et d'une calyptre. Sous ce rapport, la modification la plus intéressante nous est offerte par les Pinées où, en l'absence de poche digestive corticale, il s'en fait une aux dépens de l'assise externe du péricycle, tandis que c'est la seconde assise péricyclique qui produit la radicelle.

Si la racine mère a plus de deux faisceaux ligneux, les radicelles se forment en face des faisceaux et sont disposées en autant de rangées; elles sont isostiques. Si la racine mère n'a que deux faisceaux ligneux, les radicelles se forment de côté par rapport aux faisceaux ligneux, font une déviation plus ou moins grande, et sont disposées en quatre séries, équidistantes ou rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux; elles sont diplostiques.

En un mot, les radicelles des Gymnospermes naissent, s'accroissent et se disposent dans la racine mère suivant le même type que celles des Angiospermes. Elles offrent aussi, suivant les plantes, les mêmes variations secondaires que celles des Angiospermes. Plus tard, après la sortie, dans la manière dont elles desquament leur épiderme pour former la calyptre, elles se comportent comme celles des Dicotylédones, non comme celles des Monocotylédones. Les Gymnospermes sont donc climacorhizes, non liorhizes.

Conclusions de l'étude des Phanérogames.

De la comparaison des résultats généraux obtenus, pour chacune des trois classes de l'embranchement des Phanérogames, à la suite de l'étude comparative de la presque totalité des familles de ces trois classes, se dégage une conclusion très simple, qu'il nous reste à formuler.

Dans toutes les Phanérogames, les radicelles procèdent tout entières d'une croissance transversale localisée du péricycle de la racine mère et leurs trois régions se découpent de la même manière, par deux cloisonnements tangentiels successifs, dans le groupe des cellules péricycliques ainsi accrues radialement. Il n'y a pour elles qu'un seul type de formation.

Quand le péricycle est normal, elles s'y forment aussi toujours aux mêmes points, en face des faisceaux ligneux, en disposition isostique, si le nombre des faisceaux est supérieur à deux, de part et d'autre des faisceaux ligneux, en disposition diplostique, si le nombre des faisceaux se réduit à deux.

L'existence ou l'absence d'une poche digestive, son épaisseur, son origine, son mode de séparation à la sortie, sont des caractères qui modifient sans doute beaucoup l'aspect extérieur de la radicelle, mais qui sont pourtant tout à fait accessoires, car ils varient non seulement d'une famille à l'autre dans chaque classe, mais d'un genre à l'autre dans la même famille, parfois d'une espèce à l'autre dans un même genre, et quelquefois d'une racine à l'autre dans la même plante.

Après la sortie de la radicelle, une fois la poche exfoliée quand elle existe, le mode de desquamation de l'épiderme composé permet de tracer chez les Phanérogames deux divisions : celle des Climacorhizes, où la desquamation est partielle, comprenant les Dicotylédones, moins les Nymphéacées, et les Gymnospermes; celle des Liorhizes, où la desquamation est totale, comprenant les Monocotylédones, plus les Nymphéacées.

CHAPITRE IV

RADICELLES DES CRYPTOGAMES VASCULAIRES

La double loi qui assigne aux radicelles des Phanérogames le péricycle de la racine mère comme lieu de formation et qui fixe leur situation dans ce lieu se modifie-t-elle quand on passe aux Cryptogames vasculaires, et quelle est la nature de cette modification ? Ensuite comment, dans son lieu et place, la radicelle de ces plantes s'édifie-t-elle aux dépens de sa cellule mère et comment diffère-t-elle sous ce rapport de celle des Phanérogames ? Ce sont les deux points qu'il nous reste à examiner.

La formation des radicelles chez les Cryptogames vasculaires a été étudiée avec beaucoup de soin par MM. Nägeli et Leitgeb, en 1868 (*loc. cit.*, p. 74). Nous aurons cependant à rectifier sur plusieurs points la description donnée par ces auteurs.

Des trois classes de cet embranchement, deux seulement doivent, à proprement parler, entrer ici en considération, savoir : les Filicinées et les Équisétinées. Dans le troisième, en effet, dans les Lycopodinées, la racine se ramifie, comme on sait, en dichotomie. Pourtant, il y aura lieu d'examiner de plus près cette dichotomie et de rechercher si chaque fois elle ne résulte pas de la production extrêmement précoce d'une radicelle au voisinage du sommet de la racine mère. Ce chapitre comprend donc trois paragraphes.

I. — FILICINÉES.

Nous avons suivi la formation des radicelles dans les trois ordres de cette classe, savoir : les Fougères, les Marattinées et les Hydroptérides.

Fougères (pl. XXV, fig. 389-396, et pl. XXVI, fig. 397-403). — Parmi les Fougères, considérons en premier lieu la famille

des Polypodiacées, et prenons pour premier exemple un *Pteris*.

Une racine latérale de *Pteris cretica* ou de *Pt. Blumeana* a, sous l'assise pilifère, huit ou neuf assises corticales formées de cellules polyédriques, sans méats; l'antépénultième et la pénultième assise ont leurs membranes brunes et épaissies tout autour (fig. 389 et 390). La dernière, au contraire, est formée de cellules à paroi mince et incolore, fortement aplaties et portant sur leurs étroites faces latérales et transverses une série de plissements échelonnés, qui se traduisent par des marques noires sur les coupes transversales; ces plissements se colorent fortement par le vert d'iode : ils sont lignifiés. En un mot, l'endoderme est doué ici des mêmes caractères que chez les Phanérogames. Le cylindre central a un péricycle simple tout autour, contre lequel s'appuient deux faisceaux ligneux, qui confluent plus tard au centre en une bande diamétrale, et deux faisceaux libériens alternes, séparés de la bande vasculaire par un ou deux rangs de cellules conjonctives. Chaque faisceau ligneux commence par une rangée tangentielle de trois vaisseaux, dont le médian, qui est le plus étroit et le premier formé, s'appuie contre une cloison péricyclique (1).

C'est par la croissance transversale et le cloisonnement d'une seule cellule endodermique que la radicelle prend naissance non loin du sommet. Cette cellule prédestinée, double des autres en largeur, est superposée aux deux cellules péricycliques dont la cloison séparatrice s'appuie, comme il vient d'être dit, contre le premier vaisseau d'un faisceau ligneux; son centre correspond donc exactement à ce premier vaisseau; vers l'extérieur, elle est recouverte aussi par deux cellules sus-endodermiques (fig. 389). Il en résulte que toutes les radicelles sont disposées en deux rangées longitudinales,

(1) Pour la structure de la racine des Fougères, voy. Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 59, 1871) et *Sur la limite du cylindre central et de l'écorce dans les Cryptogames vasculaires* (*Journal de botanique*, II, p. 369, 1888).

exactement en face des faisceaux ligneux (fig. 392, *a*). Les deux cellules péricycliques situées entre la cellule rhizogène et le faisceau ligneux, et même les deux cellules péricycliques de droite et de gauche, s'accroissent aussi et prennent des cloisons, radiales dans les premières, tangentielles dans les secondes ; mais elles ne produisent que le pédicule de la radicelle, pédicule court en forme de disque, ou mieux de godet, par où elle s'insère sur le faisceau ligneux et sur les deux faisceaux libériens. Les deux cellules endodermiques entre lesquelles est comprise la cellule rhizogène s'accroissent aussi quelque peu, mais ne se cloisonnent pas.

La cellule rhizogène, agrandie et fortement bombée en dedans et en dehors en forme de lentille biconvexe, prend d'abord vers l'intérieur trois cloisons obliques, convergeant au centre de sa face interne, et concaves en dehors, qui découpent vers l'intérieur trois cellules, dont l'une est tournée vers la base de la racine mère, tandis que l'arête de jonction des deux autres est tournée vers le sommet (pl. XXVII, fig. 412). Ces trois cellules sont destinées à former la base de la radicelle ; nous y reviendrons plus tard. Elles comprennent une cellule tétraédrique à faces convexes, figurant une pyramide triangulaire horizontale qui tourne son sommet en dedans, sa base bombée en dehors, une arête en bas, une face en haut. C'est cette cellule tétraédrique qui, en grandissant et en se cloisonnant à mesure parallèlement à ses quatre faces, va édifier, sur la base constituée par les trois premières cellules, la radicelle proprement dite. Elle est donc la véritable cellule mère de la radicelle. A cet effet, elle découpe d'abord, par une cloison parallèle à sa face externe, un segment en forme de verre de montre, puis successivement, par trois cloisons parallèles à ses trois faces internes, trois segments triangulaires ; après quoi il se fait un second segment externe en verre de montre et une seconde série de trois segments internes triangulaires, et ainsi de suite indéfiniment (fig. 389).

Le premier segment en verre de montre constitue l'épiderme, qui est ainsi séparé le premier ; les trois premiers

segments triangulaires constituent à la fois l'écorce et le cylindre central, qui ne se séparent que plus tard. Le segment épidermique, après s'être divisé en quatre triangles par deux cloisons longitudinales radiales en croix et avoir subdivisé ces quatre triangles par une cloison longitudinale tangentielle assez rapprochée du bord, dédouble sa région médiane par une cloison parallèle à sa surface; après quoi chacune de ses moitiés ne se divise plus que par des cloisons longitudinales. Simple à la base, l'épiderme se dédouble donc autour du sommet, mais borne là sa croissance en épaisseur (fig. 389).

Chacun des trois premiers segments internes, après s'être partagé en deux par une cloison longitudinale presque radiale, se divise tangentiellement de la manière suivante. Il s'y fait d'abord une première cloison vers le tiers à partir de l'extérieur, puis une seconde cloison en dedans de la première vers les deux tiers à partir de l'extérieur. Des trois cellules ainsi formées, l'interne, séparée en second lieu, forme le cylindre central, tandis que les deux autres ensemble produisent l'écorce. La cellule externe prend bientôt une cloison tangentielle, qui sépare en dehors l'assise externe ou exoderme, puis une nouvelle cloison intérieure à la première, qui isole la seconde et la troisième assises corticales : le tout forme la zone corticale externe. La cellule moyenne prend aussi de bonne heure une cloison tangentielle, qui sépare en dedans l'assise plissée ou endoderme, en dehors l'avant-dernière assise corticale, qui reste simple; ces deux assises forment ensemble la zone corticale interne. L'endoderme est donc individualisé très tôt au bord interne de la zone intérieure de l'écorce, en même temps ou à peu près que l'exoderme au bord externe de la zone extérieure de l'écorce (1). La cellule interne, destinée au cylindre central, ne tarde pas à

(1) Les deux cloisons rapprochées qui séparent l'endoderme aplati se suivent de très près; souvent on les trouve toutes les deux formées dans un segment quand le segment supérieur n'en a encore aucune, et on pourrait alors hésiter sur la limite à attribuer au cylindre central. Mais en étudiant un grand nombre de préparations, on en trouve où le segment supérieur n'a qu'une seule cloi-

prendre d'abord une première cloison tangentielle vers son bord externe, qui isole le péricycle, puis successivement d'autres cloisons tangentielles pour constituer le reste du cylindre.

Remarquons que ce qui se sépare tout d'abord dans les segments triangulaires, ce n'est pas le cylindre central, mais bien la zone corticale externe; plus tard seulement, le cylindre central se sépare à son tour de la zone corticale interne. Pendant qu'ils se cloisonnent de la sorte tangentiellement, les segments triangulaires s'accroissent suivant l'axe et dédoublent leurs cellules par une ou plusieurs cloisons transversales; mais leur croissance longitudinale est de courte durée, et ils ne donnent à la radicelle qu'un disque de cylindre central et d'écorce, un disque cortico-stélique.

Cette croissance limitée des quatre premiers segments issus de la cellule tétraédrique exige que cette cellule en forme périodiquement de nouveaux dans le même ordre et superposés aux premiers, ce qui a lieu en effet, comme il a été dit plus haut.

Sous le premier épiderme, il se fait donc un second épiderme, simple à la base, double autour du sommet, se comportant en un mot comme le premier; puis il s'en forme un troisième sous le second, et ainsi de suite. La radicelle se couvre ainsi, non d'un épiderme à croissance indéfinie et de plus en plus composé, comme chez les Phanérogames, mais d'une superposition indéfinie d'épidermes indépendants à croissance limitée, dont chacun est simple à la base ou sur son bord, double autour du sommet ou dans sa région médiane. En un mot, l'épiderme est multiple.

De même, sur la première série de segments triangulaires s'en empile une seconde, puis une troisième, et ainsi de suite, qui se cloisonnent exactement comme les premiers,

son, et cette cloison prolonge toujours la cloison interne du segment sous-jacent, jamais la cloison externe. La cloison interne est donc bien la première née et par suite l'endoderme dérive de l'écorce, non du cylindre central. On verra tout à l'heure pourquoi nous insistons sur ce point.

de manière qu'au premier anneau d'écorce se superpose un second anneau d'écorce, puis un troisième, etc., et qu'au premier disque de cylindre central se superpose un second disque de cylindre central, puis un troisième, etc. La radicelle possède donc, non pas comme chez les Phanérogames, une écorce unique et un cylindre central unique à croissance indéfinie, mais une superposition indéfinie d'écorces et de cylindres centraux indépendants, de disques cortico-stéliques à croissance limitée. En un mot, l'écorce y est multiple et le cylindre central aussi.

Cette édification successive de la radicelle par une superposition indéfinie d'épidermes, d'écorces et de cylindres centraux à croissance limitée, issus du cloisonnement d'une cellule mère en voie de croissance illimitée, est un caractère nouveau, qui distingue les plantes que nous étudions de toutes les Phanérogames.

Quant aux trois cellules basilaires, elles se divisent tangentiellement de la même manière et dans le même ordre que les segments triangulaires qui leur sont superposés, pour produire la base de l'écorce externe, de l'écorce interne et du cylindre central, chacune des assises de ces trois régions se continuant avec ses caractères dans le disque inférieur ainsi formé. Notons seulement que dans la cellule basilaire, au moins dans sa région inférieure, l'assise interne issue du premier dédoublement tangentiel de la cellule externe, ainsi que l'assise externe issue du premier dédoublement de la cellule moyenne, demeurent simples; de plus, la cloison externe qui sépare l'exoderme est oblique en dehors et laisse au-dessous d'elle une partie indivise de la cellule, partie qui en s'allongeant plus tard, constitue un anneau basilaire où l'exoderme n'est pas encore séparé, où la zone corticale externe se réduit à une seule assise et l'écorce tout entière à trois assises. Il en résulte que la base est notablement plus étroite que le reste de la radicelle.

Si l'on considère que ce disque basilaire, formé tout d'abord avant la séparation de l'épiderme, n'est pas recouvert par lui,

on comprendra que l'anneau qui y entoure le cylindre central est une épistèle, comparable dans une certaine mesure à l'épistèle des Phanérogames, non une véritable écorce.

Revenons maintenant au premier segment épidermique. Après qu'il s'est dédoublé dans sa région médiane, sans doute sous l'influence de la pression exercée sur lui de bas en haut par la cellule tétraédrique en voie de croissance, la portion inférieure de la cloison longitudinale tangentielle sur laquelle s'appuie la cloison courbe transverse s'infléchit de plus en plus vers l'extérieur, de manière à venir se placer en définitive dans le prolongement de cette cloison courbe; dès lors, les deux moitiés du segment primitif s'appuient indépendamment l'une de l'autre de chaque côté sur le bord du segment triangulaire correspondant, comme si elles étaient deux segments distincts. Les épidermes partiels font de même à mesure qu'ils se forment, et l'épiderme total se compose en définitive d'un nombre d'assises indépendantes double de celui des segments en verre de montre primitifs, double aussi de celui des assises de segments triangulaires qui ont constitué en même temps l'écorce et le cylindre central de la radicelle. Mais à tout âge, il est facile de reconnaître, sur les segments épidermiques les plus internes et les plus jeunes, le dédoublement incomplet, suivi du phénomène de glissement dont il vient d'être question. On voit aussi, le glissement une fois opéré, que les diverses assises de l'épiderme total ainsi affranchies, assises qui constituent autant de calottes de la future calyptre, ne sont pas équivalentes; les calottes de rang pair à partir de la cellule mère entraînent en effet avec elles le bord indivis de l'épiderme dédoublé, et sont ainsi plus larges que les calottes de rang impair.

Pendant que la radicelle se constitue et s'allonge de la sorte, tout d'abord les cellules de l'avant-dernière assise corticale de la racine mère, qui ont conservé leurs parois minces en face de la cellule rhizogène, se dilatent, prennent quelques cloisons radiales et enveloppent le mamelon tout entier d'une poche digestive, qui attaque d'abord l'antépénultième assise

corticale, puis les assises suivantes. Mais bientôt cette poche est dissociée au sommet, puis résorbée, excepté autour de la base rétrécie de l'épistèle, et c'est désormais par sa surface même, c'est-à-dire par son épiderme, que la radicelle digère le reste de l'écorce, pour paraître au dehors; la poche digestive est donc très fugace.

A la sortie, la radicelle ne possède encore, au-dessus de son assise basilaire, que trois assises de segments cortico-stéliques dans son corps ; l'assise basilaire, très allongée, a pris sept cloisons transversales; la première assise de la radicelle proprement dite n'en a pris qu'une; le seconde et la troisième n'en ont pas encore. Son épiderme total n'est formé aussi que de trois épidermes partiels, qui correspondent aux trois assises de segments cortico-stéliques de la radicelle proprement dite; l'épiderme externe est dédoublé en deux assises devenues indépendantes par le glissement décrit plus haut; le second est aussi dédoublé, mais a encore ses deux moitiés rattachées par les cellules marginales indivises; le troisième est encore simple (fig. 390).

A ce moment aussi, les plus jeunes segments triangulaires n'ont encore qu'une cloison tangentielle, celle qui sépare l'écorce externe; les seconds ont en outre en dehors la cloison séparatrice de l'exoderme, et en dedans celle qui sépare le cylindre central; les troisièmes ont, de plus, dans l'écorce externe, la seconde assise dédoublée, dans l'écorce interne, l'endoderme séparé, et dans le cylindre central, non seulement le péricycle isolé, mais encore deux cloisons tangentielles plus internes. Les choses se continuent ainsi dans le disque basilaire; seulement, dans la moitié inférieure de ce disque, l'épistèle se réduit, comme il a été dit plus haut, à trois assises, une pour la zone externe et deux dont l'endoderme pour la zone interne, ce qui amincit d'autant la radicelle.

Enfin à la base même, l'endoderme vient se raccorder avec les flancs plissés des cellules voisines de la cellule rhizogène, tandis que les deux cellules externes de l'épistèle s'appuient contre la moitié externe de ces mêmes cellules plissées. Ici le

raccord des endodermes est direct; il ne s'opère pas à travers le péricycle par le moyen d'une cellule triplissée, comme chez les Phanérogames. De son côté, le péricycle, se raccorde avec la cellule externe provenant de la division tangentielle des cellules latérales du péricycle de la racine mère, tandis que les cellules internes, issues de cette division, se différencient en éléments libériens qui raccordent le liber de la radicelle avec les faisceaux libériens de la racine mère; en même temps, les cellules issues du cloisonnement radial des cellules péricycliques sous-jacentes à la cellule rhizogène se différencient en éléments vasculaires, qui raccordent la bande vasculaire de la radicelle à celle de la racine mère. Ce double raccord du liber et du bois de la radicelle avec ceux de la racine mère se fait à angle droit, c'est-à-dire que les deux faisceaux ligneux de la radicelle se disposent à droite et à gauche, et les deux faisceaux libériens en haut et en bas.

Après la sortie, les assises de l'épiderme s'exfolient successivement de dehors en dedans. Après deux exfoliations, le premier épiderme a tout entier disparu, en mettant à nu la portion correspondante de l'exoderme, qui prolonge alors ses cellules en poils absorbants. Après deux nouvelles exfoliations, le second épiderme a disparu à son tour, et ainsi de suite. Les épidermes successifs se détachent donc intégralement; sous ce rapport, les plantes que nous étudions ressemblent beaucoup plus aux Monocotylédones qu'aux Dicotylédones et aux Gymnospermes. L'ensemble de ces assises caduques forme la calyptre et chaque assise est une calotte de cette calyptre.

L'étude des coupes longitudinales axiles de l'extrémité de la racine mère de ces mêmes *Pteris* nous a montré que les choses s'y passent comme dans la radicelle, d'abord pour le mode de formation des quatre séries de segments issus de la cellule tétraédrique, puis pour le dédoublement médian des segments épidermiques avec glissement du bord et affranchissement des deux moitiés, enfin pour l'ordre de production des cloisons tangentielles dans les segments triangulaires. La

seule différence est dans l'épaisseur plus grande de l'écorce, en rapport avec le diamètre plus grand de la racine.

Dans le *Pteris Blumeana* (fig. 391), par exemple, une fois l'exoderme séparé de la cellule externe, celle-ci se dédouble; puis sa moitié externe se divise de nouveau à deux reprises et donne trois assises corticales; sa moitié interne fait de même et en donne trois autres; l'écorce externe se compose donc de sept assises, dont le développement ne peut être dit ni centripète, ni centrifuge. D'autre part, la cellule moyenne, séparée en même temps que le cylindre central, après avoir découpé de très bonne heure l'endoderme en dedans, se dédouble de nouveau, de sorte que l'écorce interne a deux assises. Ce qui porte l'épaisseur totale de l'écorce, y compris l'exoderme et l'endoderme, aux neuf assises que nous y avons constatées au début. Ici aussi l'endoderme est séparé de très bonne heure; il n'est pas, comme chez les Phanérogames, l'assise la dernière formée issue du cloisonnement centripète de l'écorce interne. Dans cette racine enfin, la portion actuellement adhérente de l'épiderme composé comprend quatre épidermes partiels, c'est-à-dire huit assises dont les six externes sont indépendantes et peuvent être regardées comme constituant la partie caduque, c'est-à-dire la calyptre, tandis que les deux internes sont encore unies par leurs cellules marginales et forment le plus jeune des épidermes partiels, c'est-à-dire l'épiderme proprement dit.

Même structure de la racine latérale, même formation des radicelles avec poche digestive éphémère d'origine sus-endodermique, et même constitution du sommet de la racine mère: dans le *Scolopendrium officinarum*, où les épidermes partiels dédoublent çà et là, par places, leurs deux assises; dans le *Lonchitis hirsuta*, où le péricycle, simple en face des faisceaux ligneux, est double en dehors des faisceaux libériens; dans l'*Adiantum hispidulum*, où le péricycle, très épais, est formé de trois ou quatre rangs de grandes cellules, excepté en dedans de chaque cellule rhizogène prédestinée où il ne compte que deux assises, de façon que cette cellule fait une forte saillie

à l'intérieur du péricycle où elle est comme enchâssée (fig. 394 et 395).

Chez toutes ces plantes, comme dans les *Pteris*, la cellule externe du segment triangulaire, une fois l'exoderme séparé, se dédouble un plus ou moins grand nombre de fois, pour donner une écorce externe épaisse; la cellule moyenne, une fois l'endoderme séparé, demeure simple ou ne se dédouble qu'une fois, de façon que l'écorce interne est très mince.

Ailleurs c'est le contraire qui a lieu, mais c'est la seule différence. Dans le *Struthiopteris germanica*, par exemple, où le péricycle est simple tout autour, la radicelle se forme comme dans le *Pteris cretica*. Mais la première cloison tangentielle du segment se fait plus près de l'extérieur, au sixième environ de sa dimension, et la cellule plus petite ainsi découpée, une fois l'exoderme séparé, demeure simple indéfiniment; au contraire, la seconde cloison du segment, qui se fait vers son milieu, découpe une cellule moyenne plus grande, qui, une fois l'endoderme séparé vers l'intérieur, se dédouble à plusieurs reprises et forme une écorce interne plus ou moins épaisse. La même chose a lieu à l'extrémité de la racine mère (fig. 393), où cette écorce interne compte en définitive en dehors de l'endoderme environ dix assises, tandis que l'écorce externe, ou reste simple, ou ne se dédouble qu'une ou deux fois en dedans de l'exoderme; des onze assises qui composent, entre l'exoderme et l'endoderme, l'écorce de cette racine, une seule provient donc de la cellule externe du segment, toutes les autres de la cellule moyenne. Il en est de même : dans l'*Acrostichum callæfolium* (fig. 403) et dans le *Microlepia strigosa*, où le péricycle est simple tout autour et où l'écorce interne de la racine mère compte sept à huit assises dont le développement est assez régulièrement centrifuge; dans les *Aspidium molle*, *violascens*, *rivularium*, où le péricycle est double dans les intervalles des faisceaux ligneux et libériens et où l'écorce interne compte ordinairement huit assises dans la racine mère; dans le *Davallia trichostachya*, où le péricycle est double en dehors des faisceaux libériens (fig. 402); dans

le *Polypodium aureum*, où le péricycle est double tout autour et où l'écorce interne compte jusqu'à douze assises dans la racine mère, tandis que l'écorce externe y demeure comme d'habitude, indivise; dans le *Lomaria cycadifolia*, où le péricycle est également double tout autour, dans l'*Asplenium celtidifolium* (fig. 393), dans le *Platycerium grande*, dans le *Blechnum occidentale*, etc. Chez toutes ces plantes, comme dans le *Struthiopteris*, la zone corticale externe est mince, la zone corticale interne épaisse. Ces Polypodiacées à écorce externe mince sont même plus nombreuses que les Polypodiacées à écorce externe épaisse.

Quelquefois, au niveau où naît une radicelle, la cloison péricyclique contre laquelle s'appuie le vaisseau médian externe ne correspond pas, comme d'ordinaire, au milieu d'une cellule plissée, mais à la cloison de séparation de deux cellules plissées (*Polypodium aureum*, etc.). Alors c'est la cellule située à droite ou à gauche de cette cloison qui produit la radicelle. Celle-ci fait donc avec le faisceau ligneux une déviation et, toutes ensemble, les radicelles sont disposées sur la racine mère en quatre rangées, fort rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux (fig. 392, *b*). De là une sorte de diplostichie accidentelle, due à une tout autre cause que celle qui est normale dans les racines binaires des Phanérogames.

La plupart des Polypodiacées ont, comme les *Pteris*, *Struthiopteris*, *Polypodium*, etc., leurs radicelles dépourvues de poche digestive, si ce n'est tout à fait au début. Pourtant ce caractère n'est pas général dans cette famille. Déjà, dans le *Davallia trichostachya* (fig. 402), la poche digestive simple persiste plus longtemps autour du mamelon. Dans l'*Acrostichum callæfolium* (fig. 403) où le péricycle est simple, dans le *Lomaria cycadifolia* où il est double tout autour, non seulement l'assise sus-endodermique, mais encore l'antépénultième assise corticale, dilatent leurs cellules, les cloisonnent radialement et enveloppent la radicelle d'une poche double dans toute son étendue, qui persiste jusqu'après la sortie. Les

Polypodiacées offrent donc, sous le rapport de la poche, des modifications analogues à celles qu'on a observées parmi les Dicotylédones, par exemple chez les Caryophyllées, et parmi les Gymnospermes, notamment chez les Conifères.

Étudions maintenant les Schizéacées. La racine latérale de l'*Aneimia fraxinifolia* a la structure binaire avec un péricycle simple, formé de grandes cellules allongées suivant le rayon. La radicelle naît, aux dépens d'une cellule endodermique qui couvre deux cellules péricycliques, exactement en face d'un faisceau ligneux. Cette cellule se cloisonne comme chez les Polypodiacées ; les segments épidermiques se dédoublent, les segments triangulaires séparent d'abord la zone corticale externe qui se subdivise plus tard à plusieurs reprises et devient épaisse comme chez les *Pteris ;* puis ils isolent le cylindre central et la zone corticale interne qui, une fois l'endoderme découpé, ne se divise plus. L'assise endodermique se développe autour du mamelon et l'entoure d'une poche digestive simple, qui persiste jusqu'après la sortie. Même structure binaire de la racine et même formation des radicelles, avec poche endodermique simple et persistante, dans le *Lygodium scandens* (fig. 397). Les segments épidermiques s'y dédoublent aussi dans leur région médiane; les segments triangulaires se cloisonnent de même, en donnant une zone corticale externe épaisse et une zone corticale interne seulement double. La radicelle y est tantôt située en face d'un faisceau ligneux, tantôt nettement déviée latéralement. La formation d'une poche persistante et simple est un caractère nouveau, qu'on n'a pas rencontré jusqu'ici chez les Polypodiacées.

Chez les Hyménophyllées, la racine latérale de l'*Hymenophyllum alatum* a, sous l'assise pilifère, dix assises corticales dont la dernière est un endoderme à larges plissements ; la cinquième et la sixième à partir de l'extérieur épaississent et brunissent leurs membranes. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux confluents en croix et quatre faisceaux libériens alternes. La radicelle naît en face d'un faisceau ligneux, aux dépens d'une cellule endodermique,

qui se cloisonne comme dans les Polypodiacées. Mais ici le dédoublement des épidermes successifs est plus partiel et plus irrégulier; il s'opère çà et là dans certaines cellules de l'épiderme, sans se faire dans les cellules voisines. Dans les segments triangulaires, la première cloison sépare l'écorce externe, qui se divise ensuite tangentiellement à plusieurs reprises. La seconde cloison sépare l'écorce interne et le cylindre central; dans l'écorce interne, l'endoderme s'isole d'abord, puis l'assise externe se divise plus tard encore une fois. Ce même mode de cloisonnement se retrouve au sommet de la racine mère développée, où la zone externe de l'écorce comprend sept assises et se termine par les deux assises scléreuses, tandis que la zone interne n'en contient que trois, qui gardent leurs parois minces. Les *Hymenophyllum* ressemblent donc aux *Pteris* sous ce rapport.

Au-dessous de la cellule rhizogène, les cellules péricycliques s'allongent plus que chez les Polypodiacées et forment un pédicule d'insertion plus développé suivant le rayon. Mais surtout l'assise sus-endodermique et l'assise suivante dilatent leurs cellules, puis les divisent par des cloisons radiales, de manière à entourer le mamelon radicellaire d'une poche digestive double dans toute son étendue, qui dissout le reste de l'écorce et persiste jusqu'après la sortie.

Même formation des radicelles, avec poche digestive persistante et double, dans une racine latérale binaire de *Trichomanes radicans*. Mais ici les épidermes successifs ne se dédoublent pas du tout, de sorte que les calottes de la calyptre sont en même nombre que les assises de segments triangulaires (fig. 396). De plus, la zone corticale externe, séparée la première comme dans les exemples précédents, ne prend qu'une seule cloison tangentielle, tandis que la zone interne, une fois l'endoderme découpé, prend de nouvelles cloisons tangentielles. C'est donc, comme dans le *Struthiopteris*, la zone externe qui est mince, l'interne qui est épaisse.

Parmi les Cyathéacées, étudions d'abord les *Cyathea* (*C. Gardneri*, *C. oligocarpa*). La racine a la structure binaire.

avec un péricycle simple en face des faisceaux ligneux, double en dehors des faisceaux libériens. La radicelle procède d'une cellule endodermique qui couvre deux ou même quatre cellules péricycliques et dont le milieu correspond, par conséquent, exactement à un faisceau ligneux. Cette cellule s'accroît et se cloisonne comme d'ordinaire; les segments épidermiques se dédoublent; les segments triangulaires se cloisonnent comme il a été expliqué pour le *Struthiopteris*, c'est-à-dire en produisant une zone corticale externe double et une zone corticale interne épaisse. Les cellules péricycliques sous-jacentes s'allongent beaucoup et se cloisonnent à la fois radialement et transversalement, de manière à former un pédicule qui pousse dans l'écorce la cellule rhizogène en voie de croissance et de cloisonnement. En même temps, l'assise sus-endodermique, l'antépénultième assise corticale et même l'assise suivante dilatent leurs cellules, les cloisonnent radialement et forment toutes ensemble autour du mamelon une poche triple dans toute son étendue. Plus tard, les deux assises externes de la poche sont digérées d'abord autour de la base, puis progressivement et plus ou moins complètement jusqu'au sommet, de sorte qu'à la sortie l'extrémité de la radicelle n'est plus entourée que par une poche double ou même simple.

L'étude du sommet de la racine mère développée de ces mêmes *Cyathea* montre que la cellule terminale s'y cloisonne comme la cellule mère de la radicelle, et que le cloisonnement tangentiel de l'épaisse zone corticale interne est assez régulièrement centrifuge.

Même structure binaire de la racine et même formation des radicelles : dans l'*Alsophila procera*, où le péricycle est simple tout autour; dans l'*Hemitelia setosa*, où il est simple en dehors des faisceaux ligneux, double et même triple vis-à-vis des faisceaux libériens, comme dans les *Cyathea ;* dans le *Dicksonia Sellowiana*, où il est double tout autour; dans le *Dicksonia antarctica*, où il est double en dehors des faisceaux ligneux, ordinairement triple vis-à-vis des faisceaux libériens. Dans toutes ces plantes, le péricycle s'accroît sous la radi-

celle, en la soulevant sur un pédicule plus ou moins long, et les deux assises sus-endodermiques l'enveloppent d'une poche digestive double, parfois triple. Partout aussi, les segments épidermiques se dédoublent, qnelquefois dans toute leur largeur (*Dicksonia*) ; les segments triangulaires donnent toujours une zone corticale externe double, et une zone corticale interne épaisse à cloisonnement assez régulièrement centrifuge.

D'ordinaire la radicelle est insérée exactement en face d'un des deux faisceaux ligneux ; mais il arrive aussi que la cellule mère étant située de la sorte au début, la radicelle développe ses segments de gauche beaucoup plus que ceux de droite, de manière à prendre dans l'écorce une assez forte déviation vers la droite. C'est ce qu'on voit, par exemple, dans l'*Alsophila procera* (fig. 398).

En résumé, les Cyathéacées diffèrent surtout des Polypodiacées par leur poche digestive, plus épaisse que celle des Schizéacées.

Chez les Osmondacées, enfin, nous avons étudié les *Osmunda* et *Todea*. Une racine latérale de *Todea barbara* ou de *T. Wronii*, par exemple, a, sous l'assise pilifère, une vingtaine d'assises corticales dont la dernière est un endoderme à plissements étendus dans toute la largeur des faces radiales. Le cylindre central a un péricycle simple en face du premier vaisseau de chaque faisceau ligneux, double ou triple dans tout le reste du pourtour, trois faisceaux ligneux confluents et trois faisceaux libériens alternes. La radicelle se forme dans une cellule endodermique, située non pas exactement en face d'un faisceau ligneux, mais latéralement d'un côté ou de l'autre. Elle a donc une déviation assez forte, comparable à celle qu'on observe dans les racines binaires et parfois aussi dans les racines ternaires des Phanérogames (fig. 399).

Les deux ou trois rangs de cellules péricycliques sous-jacentes s'allongent beaucoup radialement et se cloisonnent transversalement, de manière à former une sorte de pédicule qui pousse de plus en plus dans l'écorce la cellule rhizogène

en voie de croissance et de division (fig. 400). Fortement convexe vers l'intérieur, cette cellule est logée dans une concavité du pédicule, si bien qu'au premier abord on pourrait croire qu'elle appartient au péricycle. Les cellules plissées qui bordent de chaque côté la cellule rhizogène s'accroissent aussi et se cloisonnent de manière à recouvrir les flancs du pédicule. Les cellules sus-endodermiques, et aussi celles de l'assise ou des deux assises corticales superposées, se dilatent et se cloisonnent radialement, enveloppant le pédicule et la cellule rhizogène dans une poche double ou triple, qui digère de proche en proche les autres assises corticales et persiste jusqu'à la sortie.

Portée par ce pédicule péricyclique, enveloppée par cette épaisse poche corticale, la cellule rhizogène se cloisonne essentiellement comme dans les autres Fougères. Il y a pourtant une différence. Ici, la première cloison tangentielle des segments triangulaires découpe le cylindre central en dedans, l'écorce en dehors; la cloison qui sépare l'écorce en deux zones n'apparaît qu'en second lieu. C'est l'inverse, on l'a vu, dans les autres Fougères. La cellule destinée à la zone corticale externe ne prend qu'une cloison tangentielle; l'autre, au contraire, après avoir séparé l'endoderme, se dédouble à plusieurs reprises; la zone corticale externe est donc mince, l'interne épaisse, comme dans les Polypodiacées que nous avons groupées plus haut autour du *Struthiopteris*, comme dans les Cyathéacées, etc. Chaque segment épidermique se dédouble tangentiellement dans toute son étendue, et chacun des épidermes doubles ainsi constitués demeure enchâssé dans la dépression correspondante de l'écorce, au lieu de se trouver, comme dans les autres Fougères, repoussé au dehors et rendu libre sur les bords.

L'étude du cloisonnement de la cellule terminale dans la racine mère développée des *Todea* conduit au même résultat (fig. 401) (1).

(1) M. Lachmann a attribué au sommet de la racine du *Todea barbara* quatre cellules mères équivalentes (*Bull. de la Soc. bot. de Lyon*, 1884). M. Bower a émis la même opinion (*Quaterly Journal*, 1885). Nous n'avons

Même mode de formation des radicelles, avec pédicule péricyclique et poche corticale épaisse, et même succession des cloisonnements, aussi bien dans la cellule mère que dans la cellule terminale de la racine développée, chez l'*Osmunda regalis*, avec cette différence que la racine mère y est binaire et produit ses radicelles en quatre rangées, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. D'ailleurs cette structure binaire avec disposition quadrisériée des radicelles s'observe aussi dans les racines plus grêles des *Todea*.

En résumé, le cloisonnement tangentiel des quatre segments issus de la cellule mère de la radicelle, ou de la cellule terminale de la racine développée, subit quelques modifications chez les Fougères. Le plus souvent, les segments épidermiques se dédoublent; quelquefois le dédoublement est incomplet (*Hymenophyllum*) ou nul (*Trichomanes*). Dans les segments triangulaires ou cortico-stéliques, le plus souvent la cloison médio-corticale apparaît la première, le cylindre central ne se séparant qu'en second lieu; quelquefois c'est l'inverse (*Osmunda*, *Todea*). Le plus souvent aussi la zone corticale externe demeure mince, ordinairement double, tandis que la zone interne s'épaissit par une série de cloisons tangentielles où domine la direction centrifuge; quelquefois c'est l'inverse (*Pteris*, *Adiantum*, *Aneimia*, *Lygodium*,, etc.). Mais ces variations sont sans importance. Partout l'assise plissée procède la première de la cellule moyenne, qui est corticale, au même titre que l'exoderme de la cellule externe, qui est également corticale; elle mérite donc partout le nom d'endoderme. Partout aussi l'assise, simple ou multiple, de cellules ordinaires qui entoure les faisceaux ligneux et libériens procède de la cellule interne constitutive du cylindre central; elle mérite donc partout le nom de péricycle. Partout la radicelle procède d'une seule cellule endodermique, située le plus souvent en face d'un faisceau ligneux, quelquefois plus

trouvé, dans les *Todea* comme dans les autres Fougères, qu'une seule cellule mère, tant au sommet de la racine développée qu'au début de la radicelle. L'un de nous reviendra prochainement sur ce sujet dans un travail spécial.

ou moins déviée latéralement. Le péricycle sous-jacent se borne à former un disque d'insertion souvent aplati, quelquefois allongé en pédicule (Cyathéacées, Osmondacées), et dans ce dernier cas bordé tout autour par les cellules endodermiques voisines de la cellule mère, qui deviennent des cellules annexes. Ce qui varie encore, c'est le degré de persistance et la structure de la poche digestive sus-endodermique, tantôt simple et fugace (Polypodiacées), tantôt simple et persistant jusqu'à la sortie (Schizéacées), tantôt à la fois persistante et composée (Hyménophyllées, Cyathéacées, Osmondacées).

Il nous reste maintenant à comparer les résultats auxquels nous venons de parvenir, au sujet des Fougères, à ceux que MM. Nägeli et Leitgeb ont obtenus en 1868 (*loc. cit.*, p. 74 et p. 111).

Pour ces auteurs, l'assise à laquelle appartiennent les cellules rhizogènes, assise dont ils n'ont pas aperçu les plissements caractéristiques, est l'assise la plus interne de l'écorce; mais ils ne le démontrent pas et la chose ne va pas de soi, comme on l'a vu plus haut; il semble même que la différenciation très précoce de cette assise et la difficulté qui en résulte pour fixer la limite du cylindre central, leur ait échappé.

Les plissements de cette assise, décrits pour la première fois par l'un de nous en 1871 (1) et qui la rendent toute semblable à l'endoderme de la racine des Phanérogames, l'ont conduit à l'homologuer à cet endoderme et à lui attribuer en conséquence, conformément à l'avis de MM. Nägeli et Leitgeb, une origine corticale. Cette opinion a été admise par tous les auteurs qui ont suivi, notamment par M. Russow (1872 et 1875), par M. de Bary (1877), etc. Ce n'est que tout récemment qu'elle a été contredite par M. Lachmann (2). Pour ce botaniste, l'assise plissée de la racine des Fougères aurait avec le péricycle une origine commune et ces deux assises

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 59 et suiv., 1871).

(2) Lachmann, *Recherches sur la morphologie et l'anatomie des Fougères* (*Comptes rendus*, CI, p. 603, 1885) et *Structure et croissance de la racine des Fougères* (*Bulletin de la Soc. botanique de Lyon*, 1887).

dériveraient ensemble de la périphérie du cylindre central ; en un mot, l'assise plissée serait l'assise externe du cylindre central, c'est-à-dire du péricycle. S'il en était ainsi, elle ne mériterait plus le nom d'endoderme, que l'auteur lui conserve cependant ; ce serait l'assise située en dehors d'elle qui deviendrait l'endoderme. Pour M. Lachmann, les radicelles de ces plantes seraient donc en définitive produites par le péricycle, c'est-à-dire par le cylindre central, comme chez les Phanérogames, non par l'endoderme, c'est-à-dire par l'écorce, comme il était admis. On a vu plus haut qu'il n'en est rien, et que l'opinion ancienne se trouve maintenant directement démontrée (1). Conformément à l'opinion ancienne, quand on passe des Phanérogames aux Fougères, la limite du cylindre central et de l'écorce se maintient entre le péricycle et l'endoderme ; ce qui se déplace, c'est le lieu de production des radicelles, qui du péricycle se transporte à l'endoderme.

Pour MM. Nägeli et Leitgeb, l'épiderme de la racine procède, avec l'écorce et le cylindre central, du cloisonnement des segments triangulaires internes ; ces segments donnent toute la racine. Les segments courbes externes produisent la coiffe, partie surajoutée, sans analogue chez les Phanérogames. Pour nous, les segments triangulaires ne donnent que le cylindre central et l'écorce, dont l'assise externe est l'exoderme ; ce sont les segments externes qui constituent l'épiderme, de sorte que la coiffe est épidermique, comme chez les Phanérogames.

MM. Nägeli et Leitgeb affirment que la première cloison tangentielle des segments triangulaires sépare le cylindre central en dedans, tandis que la seconde isole « l'épiderme » en dehors et l'écorce au milieu ; tantôt « l'épiderme » demeure simple (*Pteris*, *Blechnum*) (2), tantôt il se dédouble (*Polypo-*

(1) Voy. sur ce sujet, Ph. Van Tieghem, *Sur la limite du cylindre central et de l'écorce dans les Cryptogames vasculaires* (*Journal de Botanique*, 1er novembre 1888).

(2) Le *Blechnum* est cité dans l'étude spéciale des Polypodiacées, à côté du

dium, *Struthiopteris*, *Aspidium*, *Cystopteris*). Il y a là une erreur, qui se manifeste, suivant les genres, de deux manières différentes. Dans le *Pteris hastata*, par exemple (p. 154 et fig. 70, pl. XIV), la première cloison tangentielle des segments suivant MM. Nägeli et Leitgeb est bien, en effet, la première; mais, au lieu de séparer le cylindre central de l'écorce, comme ils l'affirment, cette cloison ne sépare, on l'a vu, que l'écorce externe, ici très développée, avec l'exoderme, du reste de la racine, c'est-à-dire de l'écorce interne et du cylindre central. Cette sorte d'erreur s'applique à tous les genres de notre première série de Polypodiacées, c'est-à-dire à tous ceux où l'écorce externe prend un grand développement. Dans le *Polypodium dimorphum* (p. 155, fig. 3, pl. XV) et le *Blechnum occidentale* (p. 155, fig. 7, pl. XV), il n'y a plus méprise sur ce que donnent les cellules découpées par les deux premières cloisons tangentielles des segments, mais sur l'ordre même de ces cloisons; d'après MM. Nägeli et Leitgeb, l'interne naît la première, l'externe la seconde; on a vu que c'est l'inverse. De plus, pour homologuer la prétendue seconde cloison avec la cloison « épidermique » des *Pteris*, les auteurs sont obligés d'admettre qu'ici l'épiderme est double, tandis qu'il est simple chez les *Pteris*. Cette autre sorte d'erreur s'applique à tous les genres de notre seconde série de Polypodiacées, c'est-à-dire à tous ceux où l'écorce interne prend un grand développement, et où l'écorce externe demeure double. Il y a bien, en effet, des Fougères où la cloison séparatrice du cylindre central se fait la première, la cloison corticale la seconde, comme nous l'avons vu chez les Osmondacées; mais ces exemples sont demeurés inconnus à MM. Nägeli et Leitgeb, qui n'ont étudié que les Polypodiacées. M. Lachmann a bien vu que la cloison médio-corticale se fait

Pteris (p. 113), comme ayant un « épiderme » simple; dans la partie générale, il est nommé à côté du *Polypodium* (p. 81), comme ayant un « épiderme double », et c'est ainsi qu'est expliquée (p. 155) la figure 7 de la planche XV, relative au *Blechnum occidentale*. C'est cette seconde place qui est la bonne, comme on l'a vu plus haut.

la première (*loc. cit.*, 1887, p. 7); mais il n'a pas aperçu la seconde cloison séparant le cylindre central d'avec l'écorce interne, et c'est ce qui explique son erreur au sujet de l'origine de l'endoderme.

D'après MM. Nägeli et Leitgeb, l'écorce externe aurait un développement centrifuge, l'écorce interne un développement centripète (*loc. cit.*, p. 83). On a vu qu'il n'en est rien; la très précoce différenciation de l'endoderme est déjà en contradiction avec ce prétendu développement centripète de l'écorce interne. Quand l'écorce interne est épaisse, la direction générale de son cloisonnement tangentiel, une fois l'endoderme séparé le premier, est souvent au contraire assez nettement centrifuge. Enfin ces botanistes affirment que les calottes de la coiffe, tant dans la radicelle que dans la racine mère développée, proviennent d'autant de segments en verre de montre découpés directement dans la cellule tétraédrique (p. 87 et p. 111). Si le nombre en est double de celui des assises de segments triangulaires, c'est que, pour une de ces assises, il se fait chaque fois deux segments en verre de montre. Nous avons vu qu'il y a là une erreur. Chaque calotte de la calyptre n'est que la moitié d'un segment primitif dédoublé. Ce dédoublement médian et le phénomène de glissement qui rejette le bord simple dans le plan de la moitié externe, en rendant libre la moitié interne, leur ont échappé. La chose n'a pas été aperçue davantage par les auteurs qui ont suivi. Ni M. Lachmann (*loc. cit.*, 1887), ni M. Strasburger (*Das bot. Practicum*, 2e édit., 1887), par exemple, n'en font mention. Il y a bien, il est vrai, quelques Fougères où les segments épidermiques ne se dédoublent pas, comme on l'a vu plus haut pour les *Trichomanes;* mais ces exemples n'ont pas été étudiés par MM. Nägeli et Leitgeb.

Marattinées (pl. XXVI, fig. 404-408). — Dans l'ordre des Marattinées, nous avons étudié la formation des radicelles chez les Marattiacées et chez les Ophioglossées.

Une racine latérale de *Marattia lævis*, par exemple, a, sous

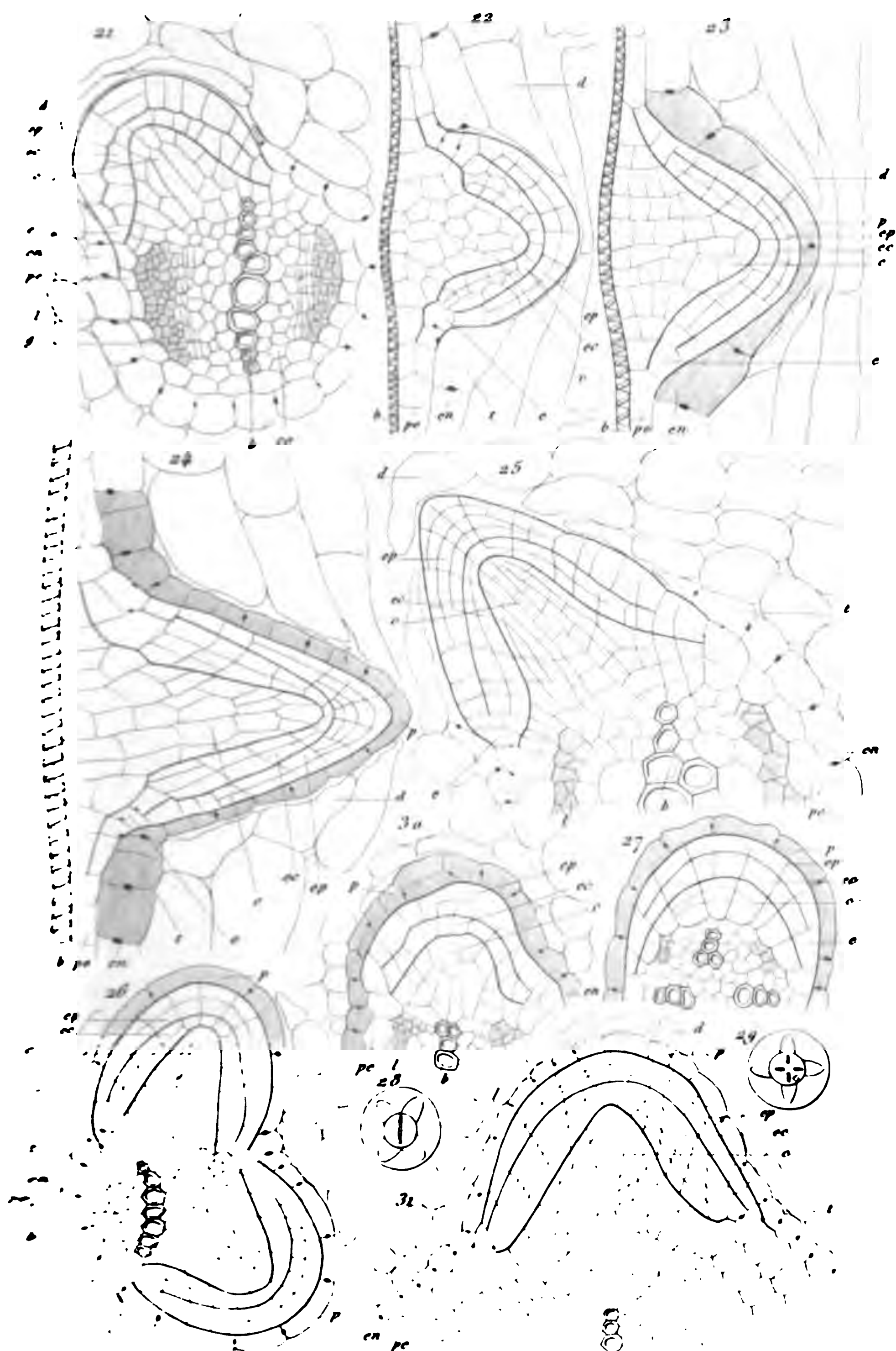


Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Mme C. Jeannot sc.

Origine des radicelles — Dicotylédones.

Disposition des radicelles (1-8) — Crucifères (9-20).

Imp. Lemercier et Cie Paris.

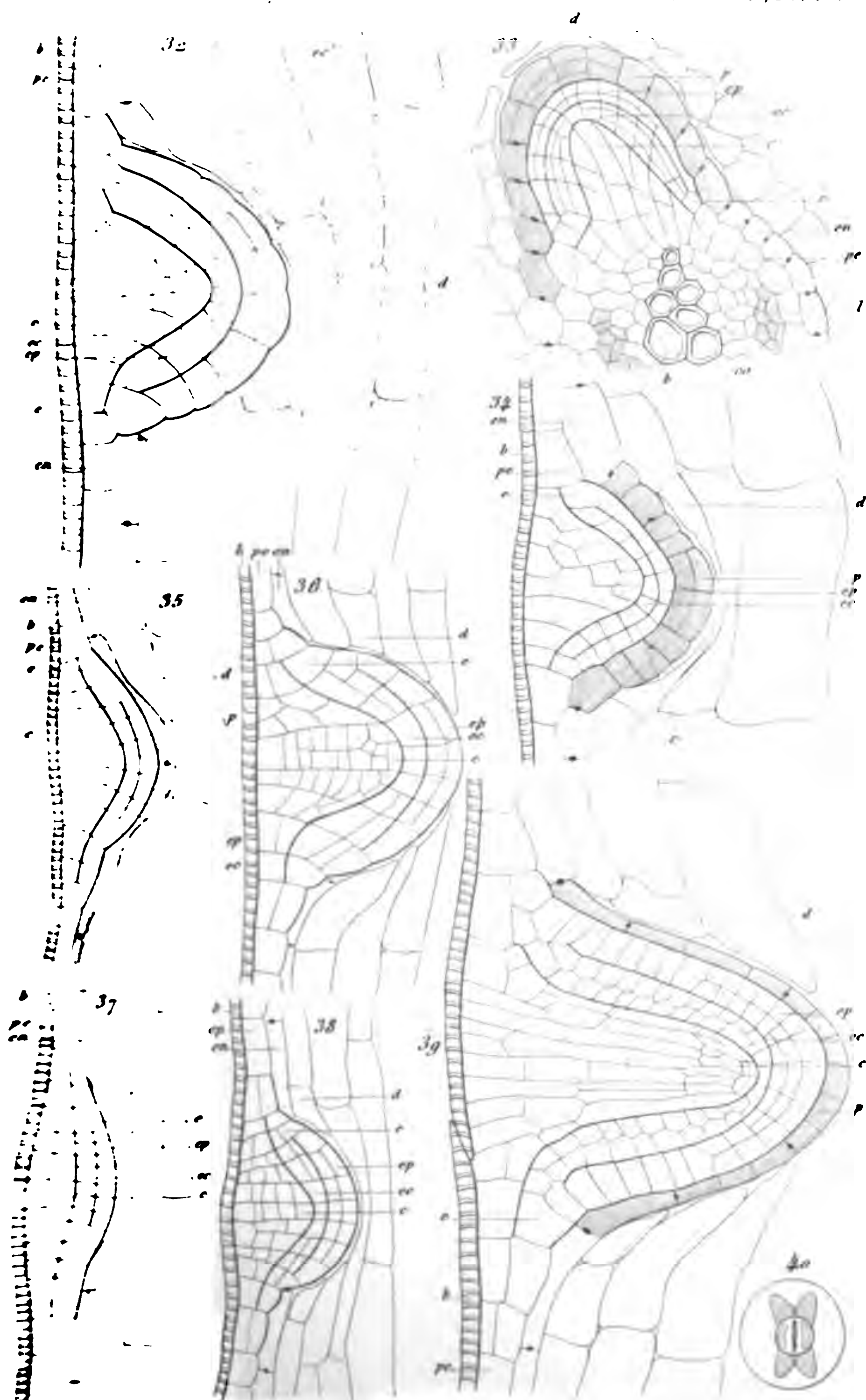


Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Mme C. Jeannest sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones.

Capparidées (21-31).

Imp. Lemercier et Cie Paris.

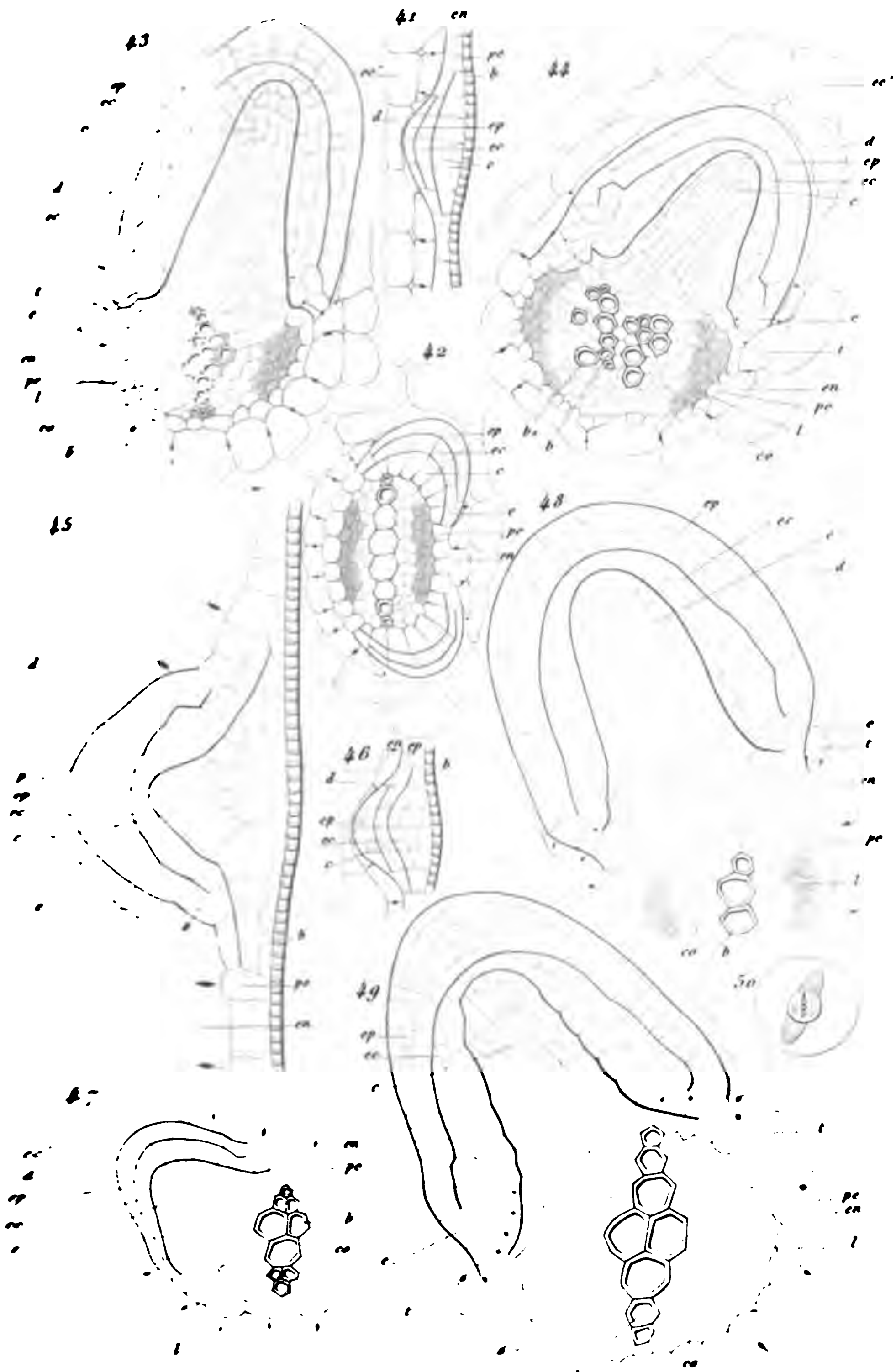


Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Mme C. Jeannot sc.

Origine des radicelles — Dicotylédones.

Fumariacées (32-33) — Papavéracées (34) — Résédacées (35-40).

Imp. Lemercier et Cie Paris.

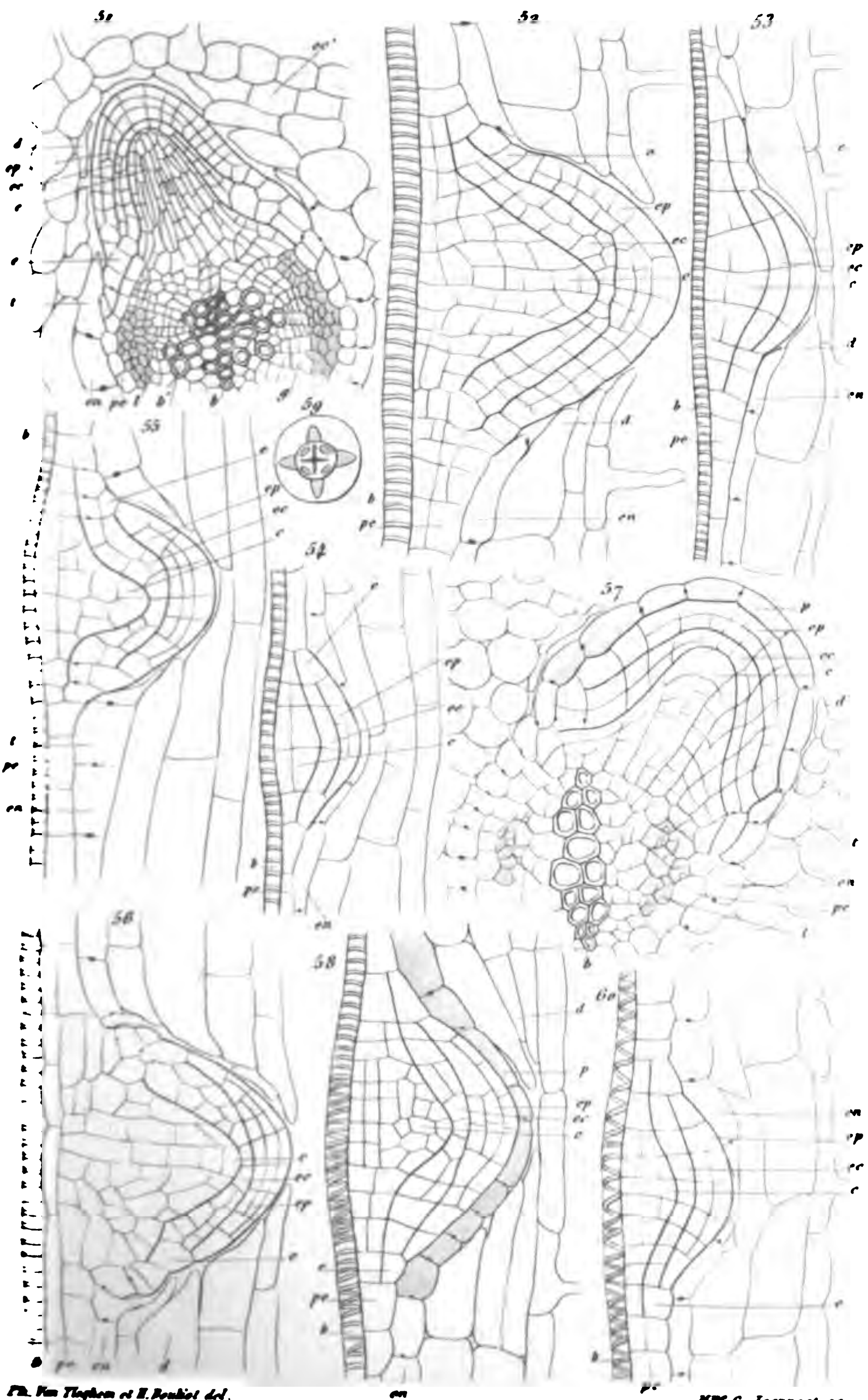


Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Mme C. Jeannet sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones.

Caryophyllées (41_45) _ Portulacées (46_50)

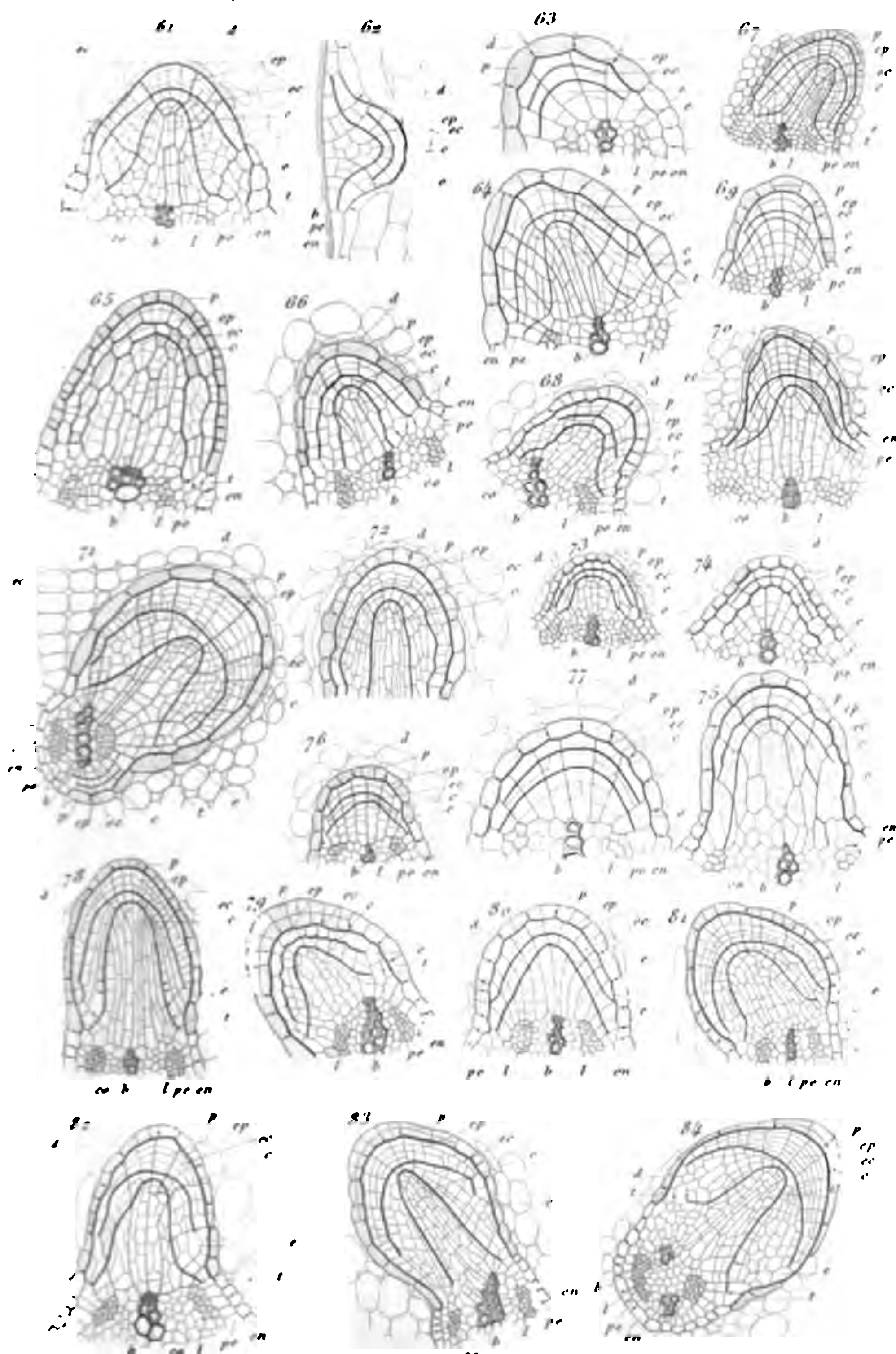
Imp. Lemercier et Cie Paris.



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Mme C. Jeannest sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones.

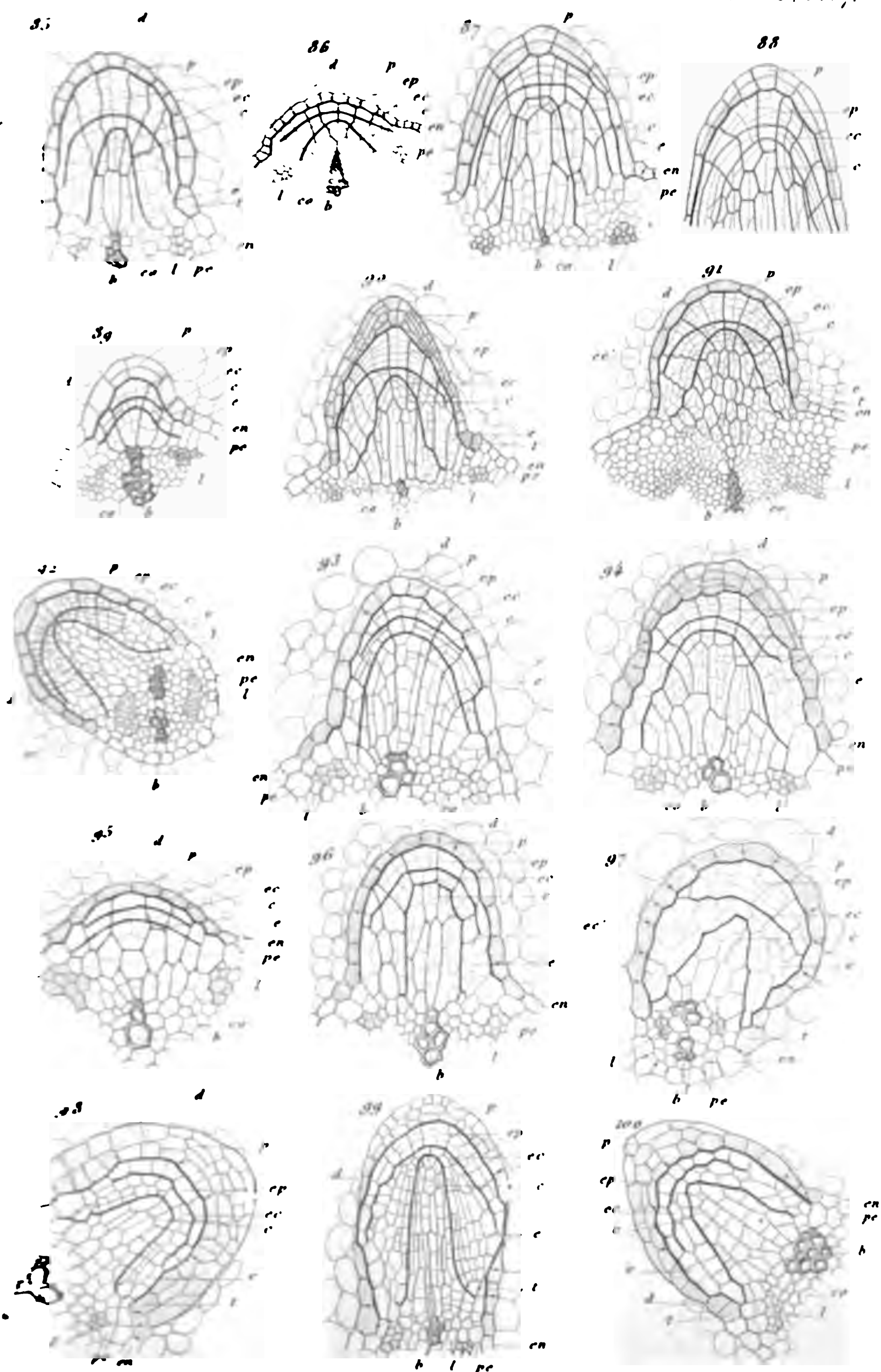
Illécébrées (51) _ Crassulacées (52) _ Aïzoacées (53) _ Amarantacées (54_55) _ Chénopodiacées (56_58) _ Basellées (59_60).



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones.

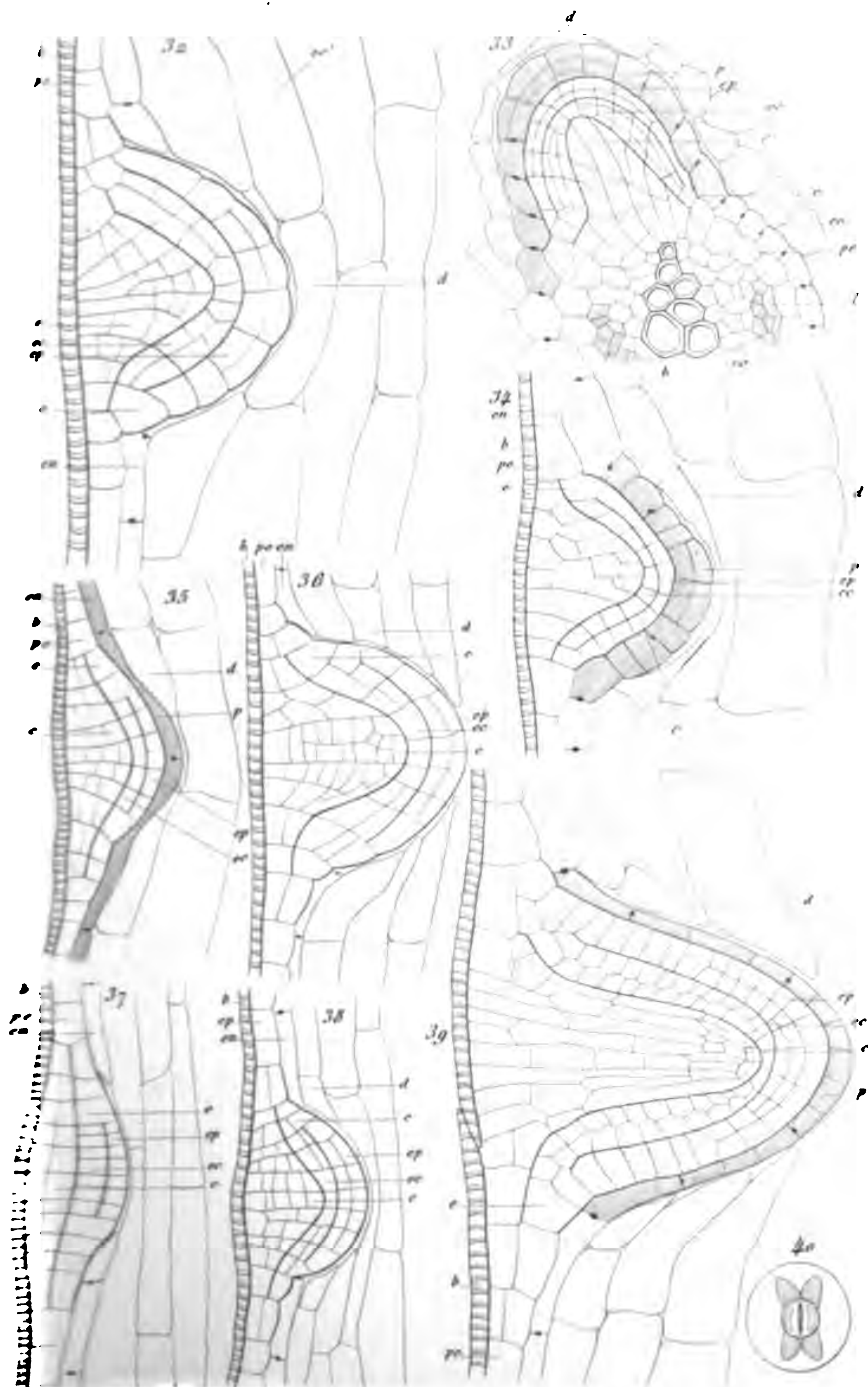
Cactées (61) _ Begoniées (62) _ Urticées (63_64) _ Cannabinées (65_66) _ Celtidées (67) _ Ulmées (68) _ Amarantacées (69) _ Chloranthées (70) _ Piperacées (71) _ Myricées (72) _ Salicinées (73_75) _ Polygonacées (76_78) Phytolaccées (79) _ Nyctaginées (80_81) _ Protéacées (82) _ Eléagnées (83) _ Thymeleacées (84).



Van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones.

Cupulifères (85-90) _ Juglandées (91) _ Santalacées (92) _ Aristolochiacées (93-94) _ Datiscées (95-96) _ Renonculacées (97-100).



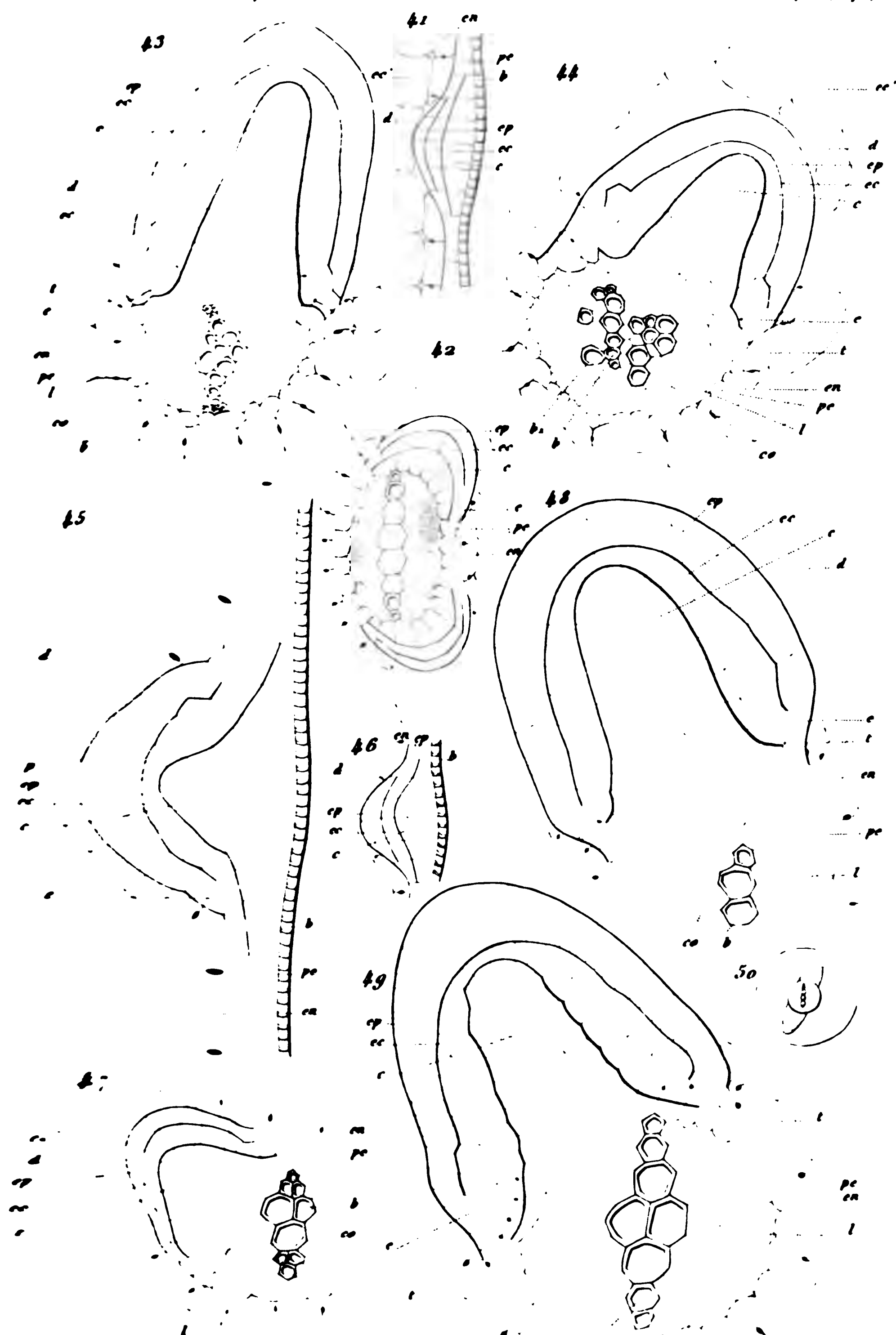
Ph. Van Tieghem et H. Douliot del.

Mme C. Jeannet sc.

Origine des radicelles — Dicotylédones.

Fumariacées (32 – 33) – Papavéracées (34) – Résédacées (35 – 40).

Imp. Lemercier et Cie Paris.



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Mme C. Jeannot sc.

Origine des radicelles — Dicotylédones.

Caryophyllées (41–45) — Portulacées (46–50)

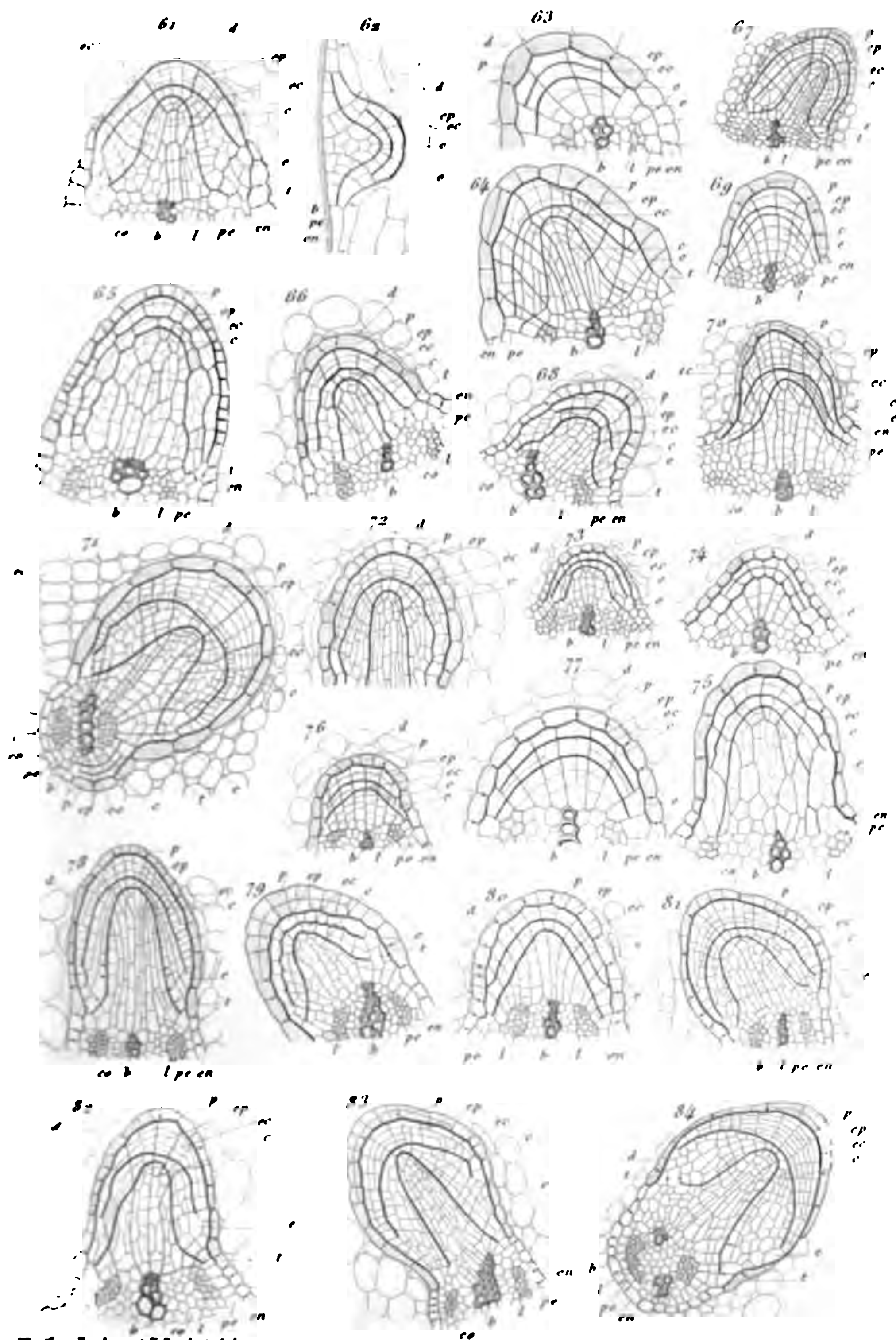
Imp. Lemercier et Cie Paris.

Mme C. Jeannert sc.



Origine des radicelles _ Dicotylédones.

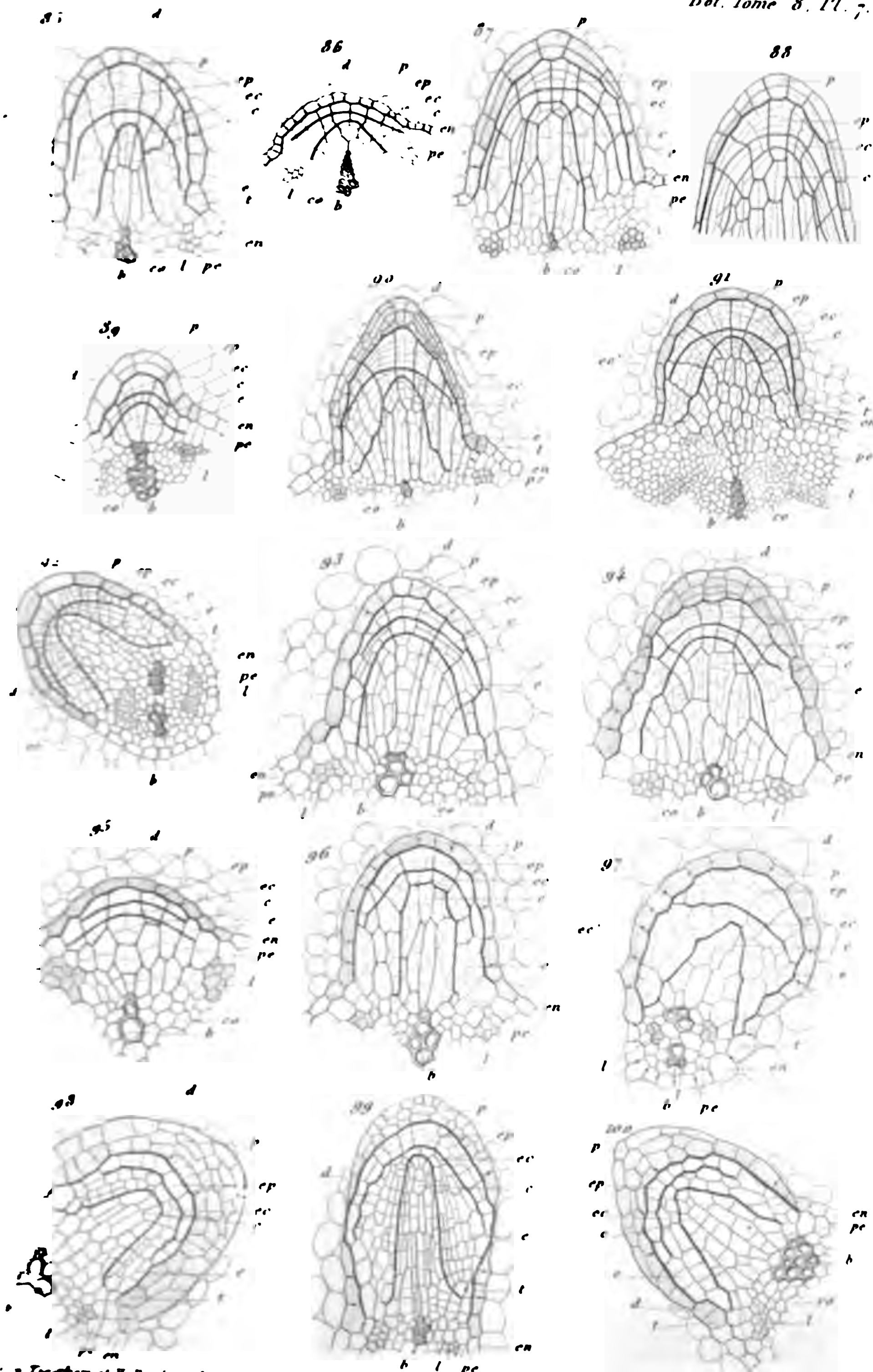
Illécébrées (51) _ Crassulacées (52) _ Aizoacées (53) _ Amarantacées (54 _ 55) _ Chénopodiacées (56 _ 58) _ Basellées (59 _ 60).



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones.

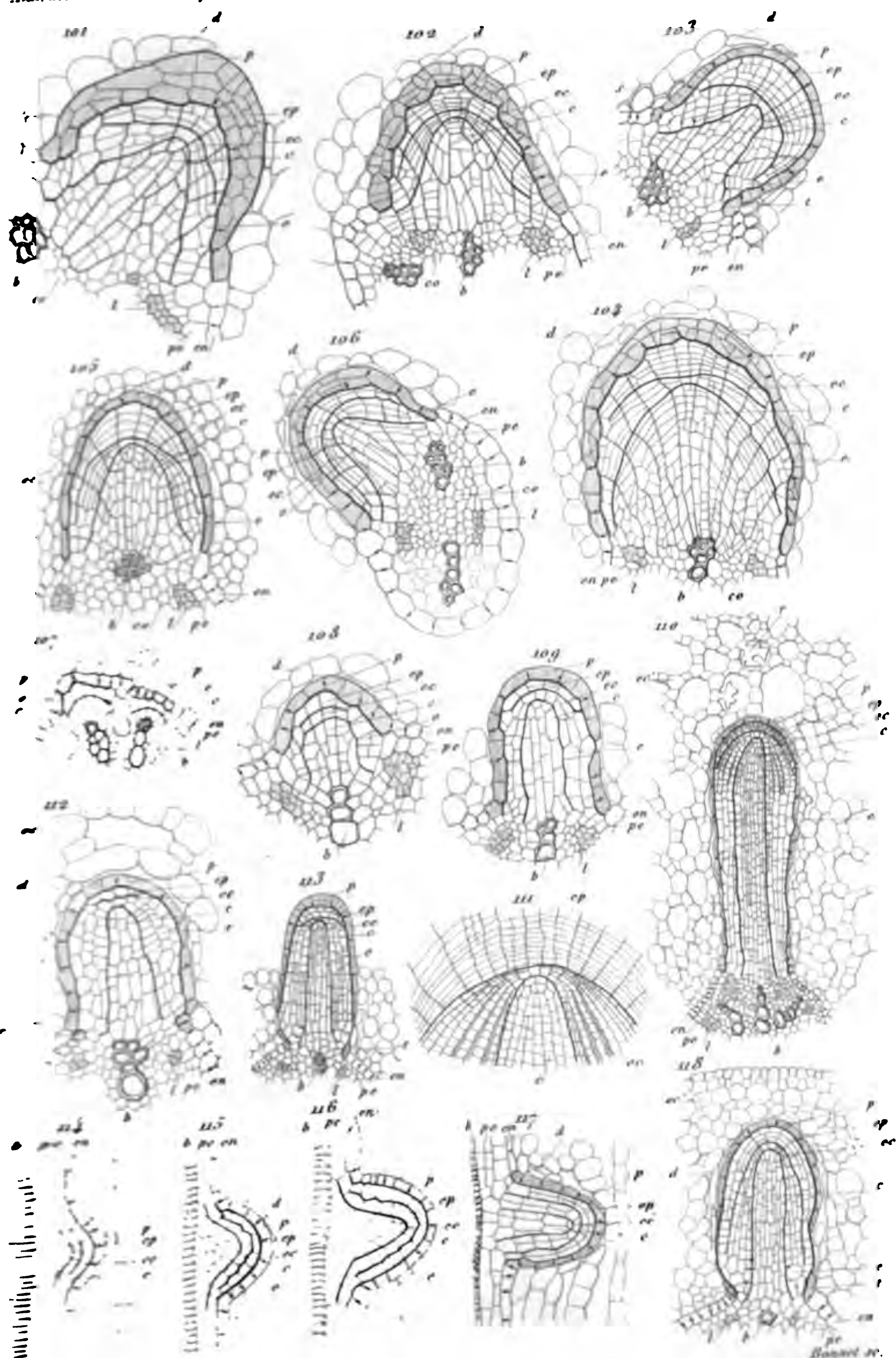
Cactées (61) _ Bégoniées (62) _ Urticées (63-64) _ Cannabinées (65-66) _ Celtidées (67) _ Ulmées (68) _ Amarantacées (69) _ Chloranthées (70) _ Pipéracées (71) _ Myricées (72) _ Salicinées (73-75) _ Polygonacées (76-78) _ Phytolaccées (79) _ Nyctaginées (80-81) _ Protéacées (82) _ Eléagnées (83) _ Thyméléacées (84).



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones.

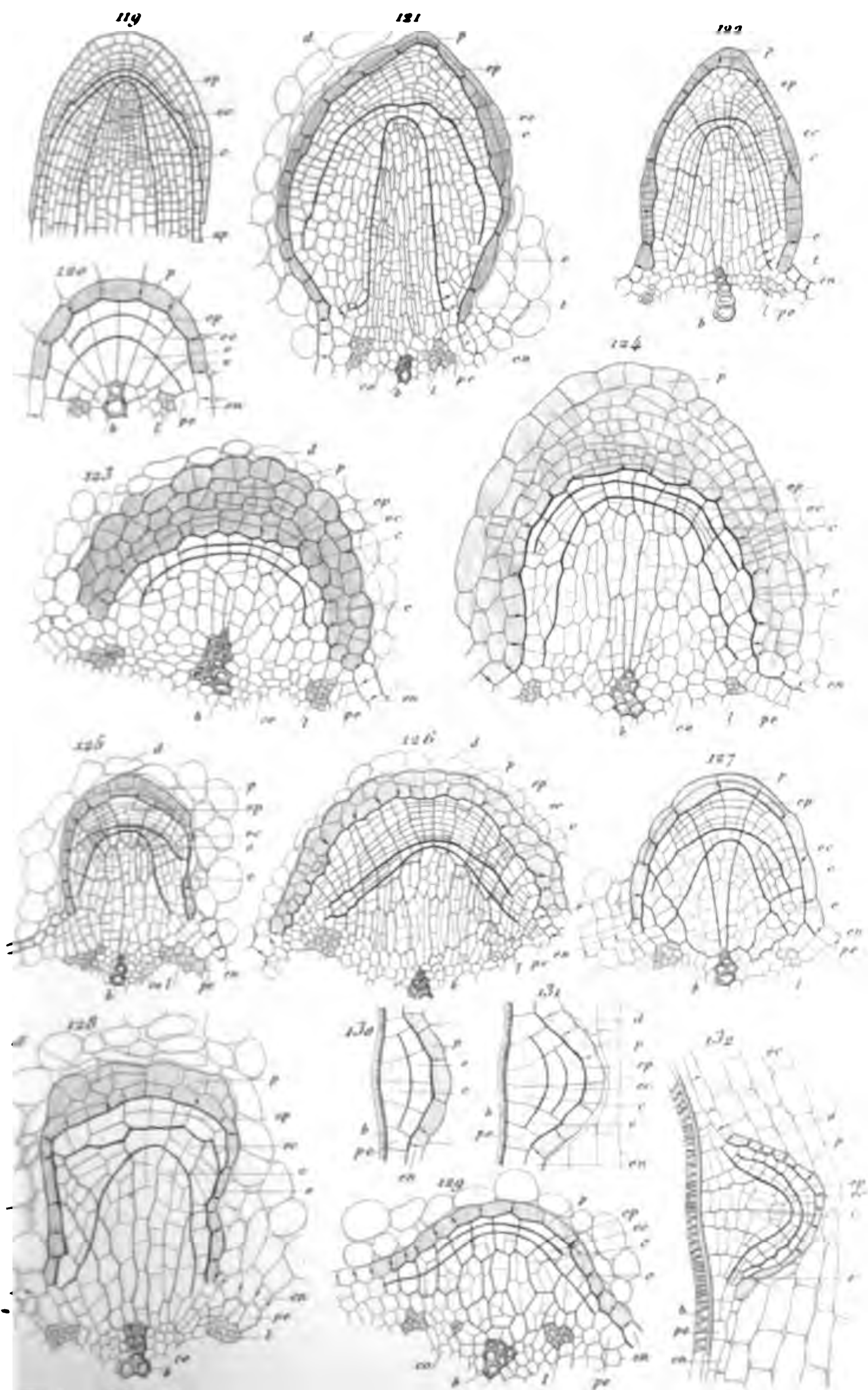
Cupulifères (85_90)_ Juglandées (91)_ Santalacées (92)_ Aristolochiacées (93_94)_ Datiscées (95_96)_ Renonculacées (97_100).



Van Tieghem et H. Douliot del. — Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones.

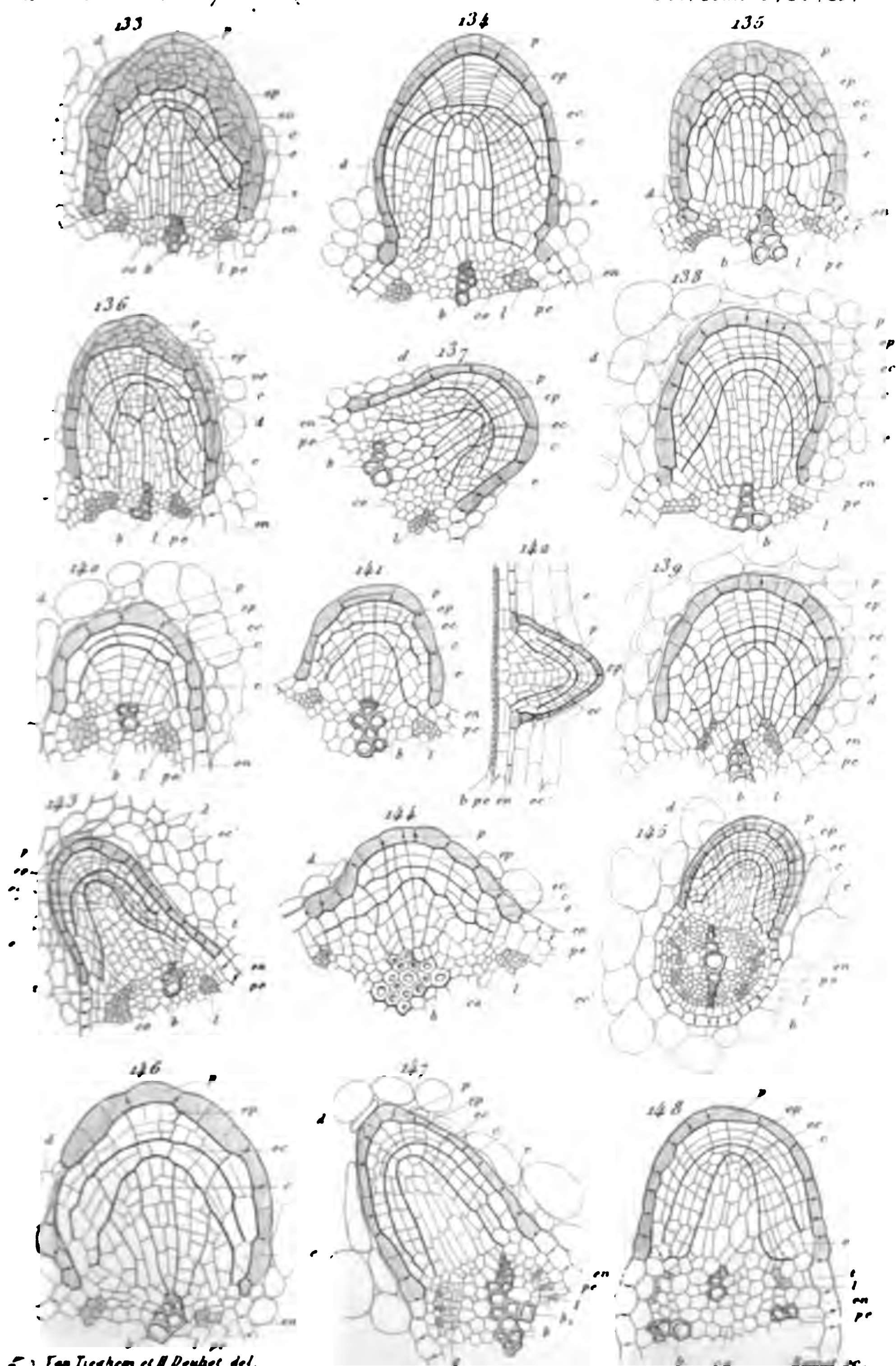
Anonacées (101) _ Magnoliacées (102) _ Monimiacées (103) _ Calycanthées (104) _ Ménispermées (105) _ Berbéridées (106) _ Nymphéacées (107_113) _ Nélombées (114_118).



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des radicelles — Dicotylédones.

Cucurbitacées (119) — Malvacées (120-122) — Sterculiacées (123-126) — Tiliacées (127) — Ternstrœmiacées (128) — Clusiacées (129) — Hypéricacées (130-132).

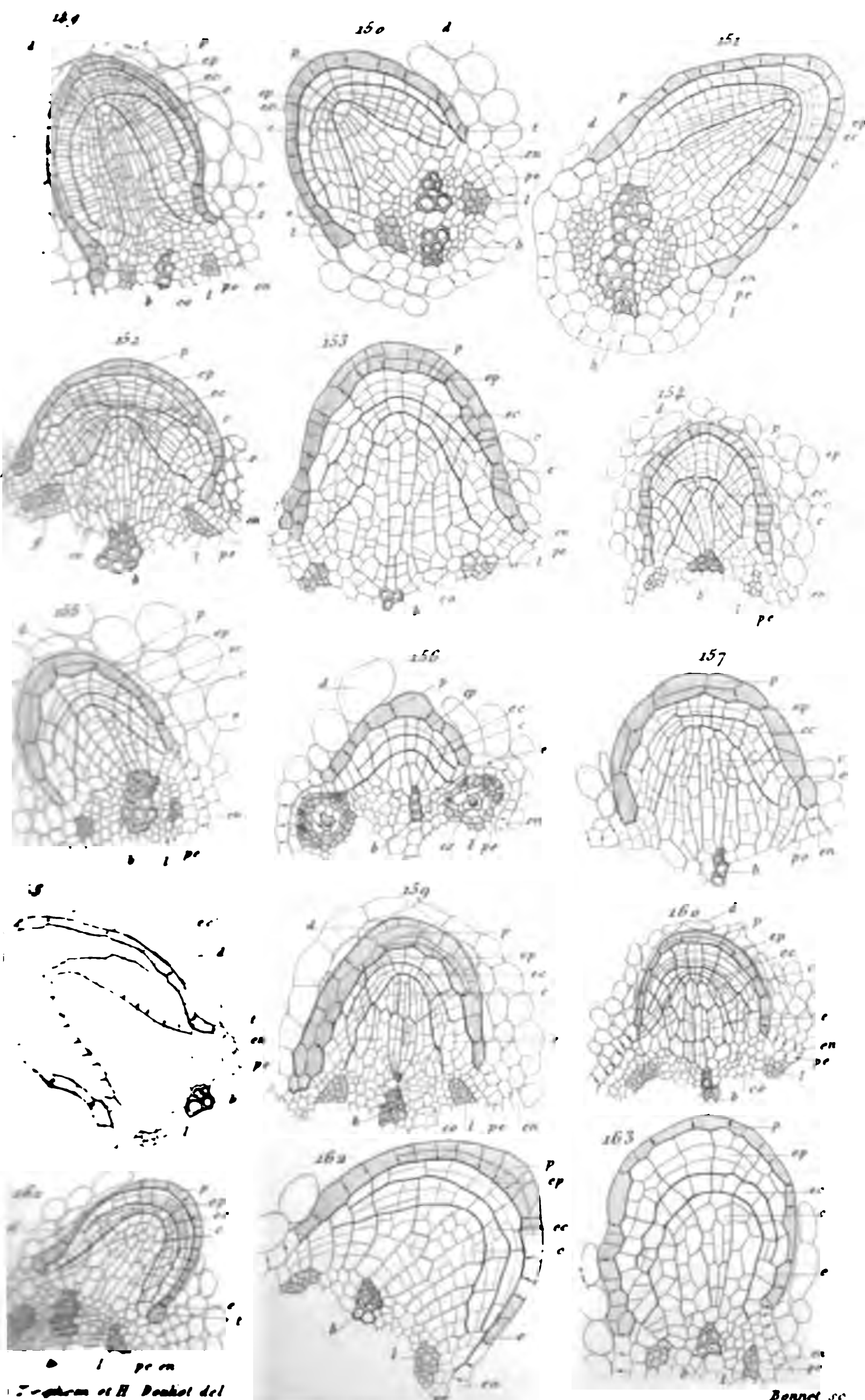


Ph. Van Tieghem et H. Douliot del.

... sc.

Origine des radicelles_ Dicotylédones.

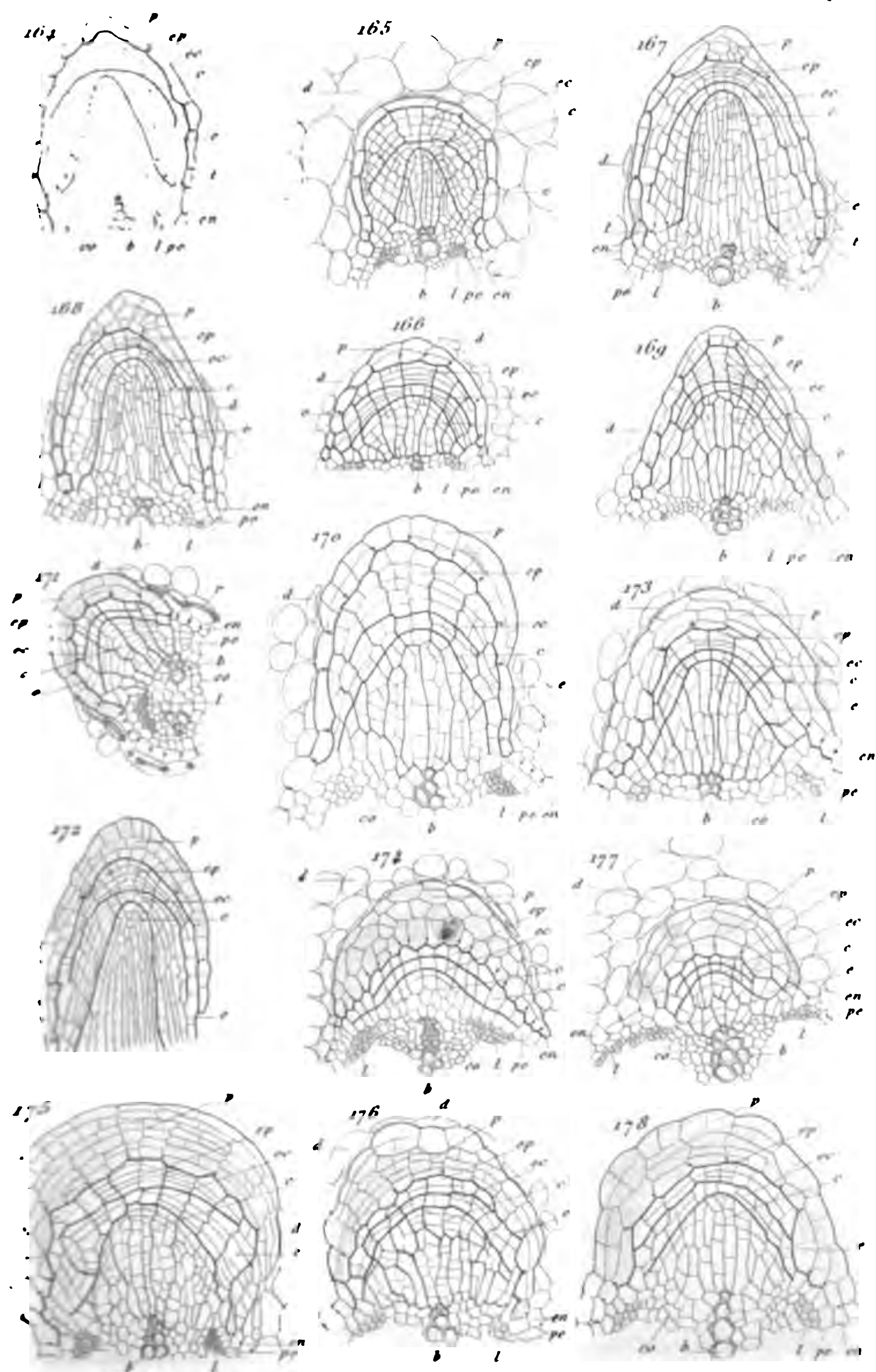
[illegible]acées (133)_ Euphorbiacées (134_135)_ Cistées (136)_ Buxacées (137) _ Papayées (138 _ 139) _ Passiflorées (140_141)_ Frankéniées (142)_ Violacées (143)_ Népenthées (144)_ Géraniacées (145)_ Tropæolées (146)_ Oxalidées (147) _ Balsaminées (148).



… Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones.

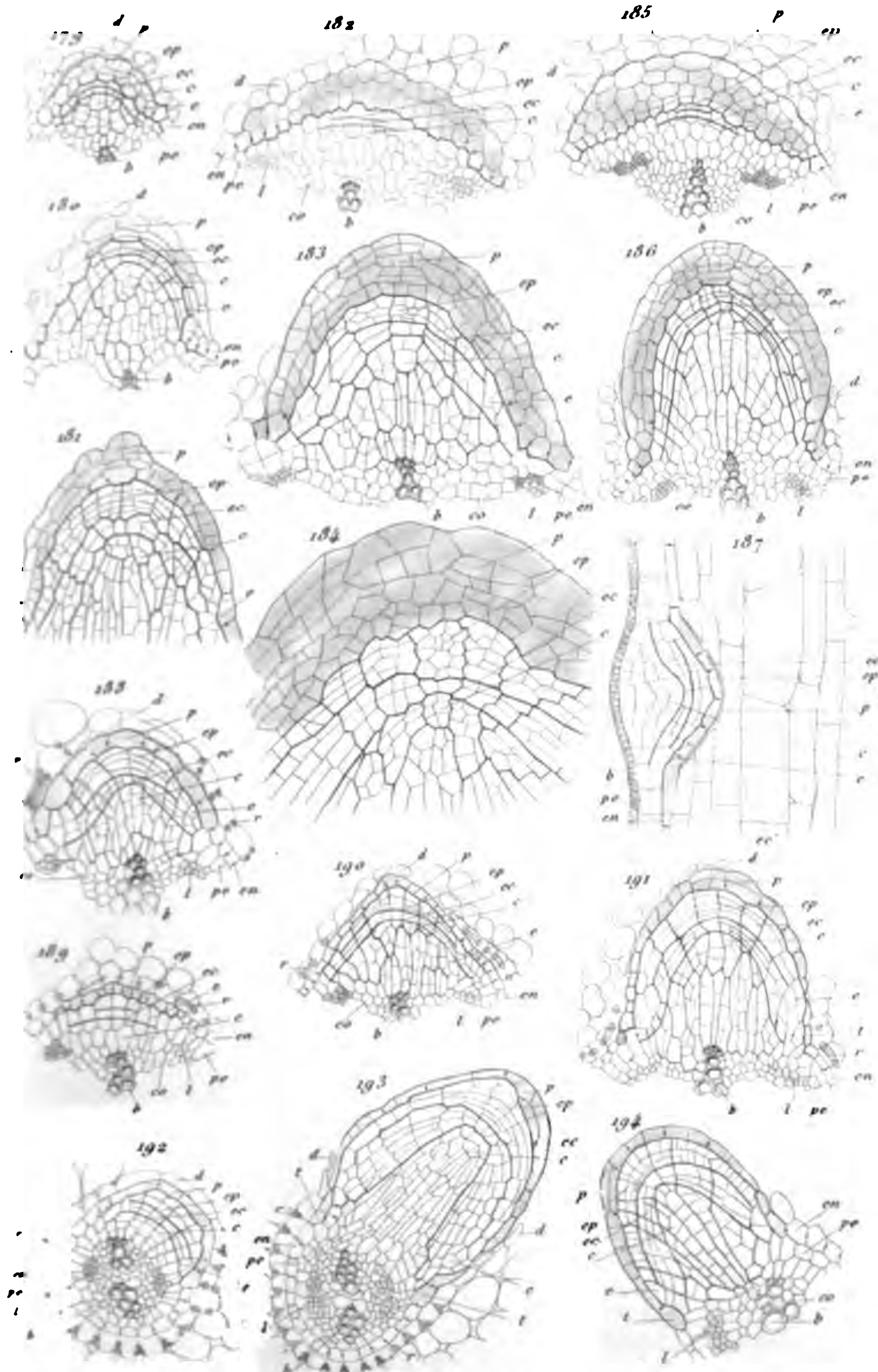
…(149) _ Linées (150_151) _ Rutacées (152) _ Méliacées (153) _ Simarubées (154_155) _ …acées (156_157) _ Sapindacées (158_160) _ Malpighiacées (161) _ Polygalées (162) _ Tremandrées (163)



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Himely sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones.

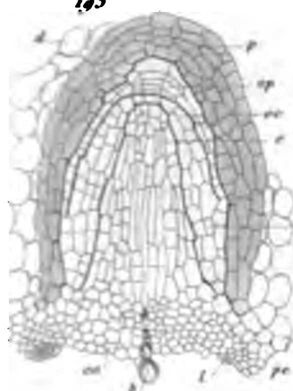
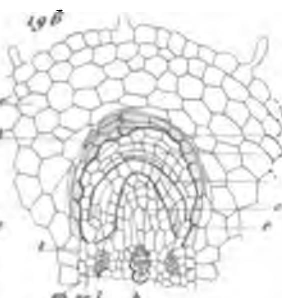
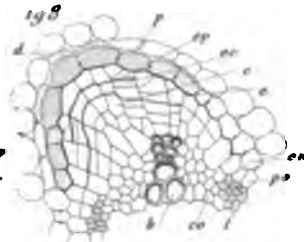
Légumineuses (164 _ 178)

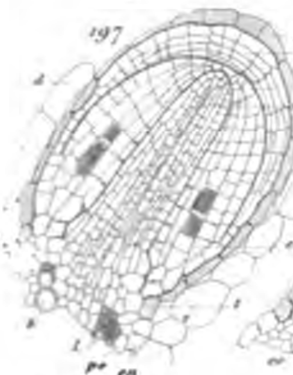


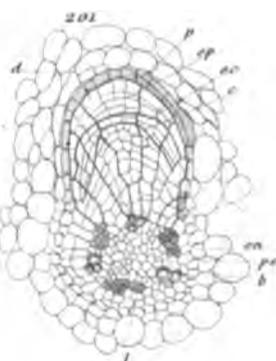
Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Himely sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones.

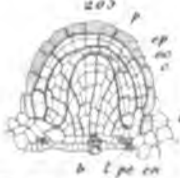
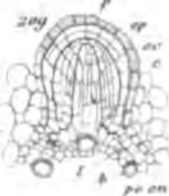
Légumineuses (179_186) _ Connarées (187) _ Rosacées (188_194)

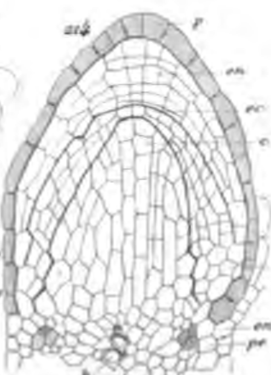








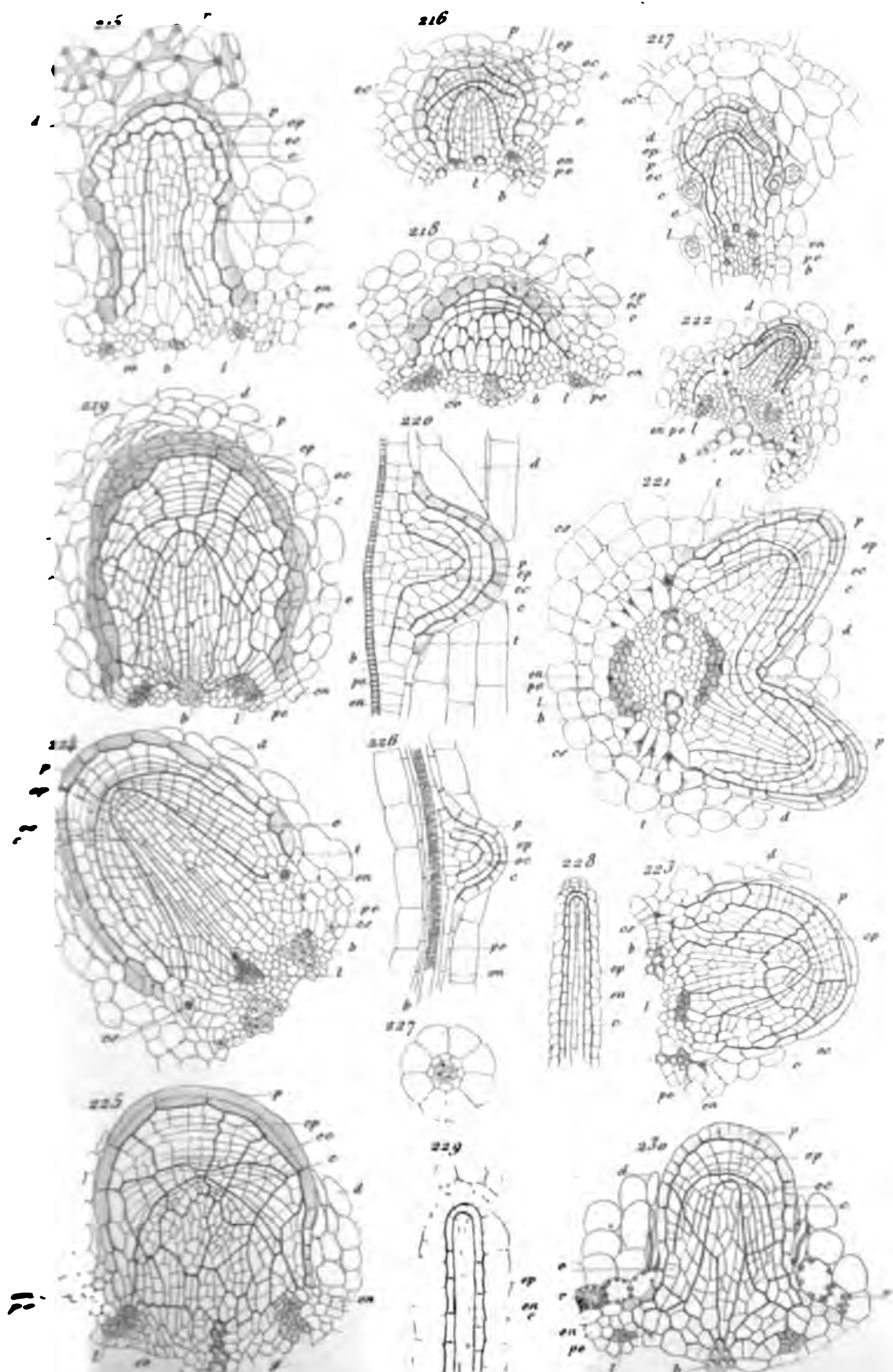





Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Himely sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones.

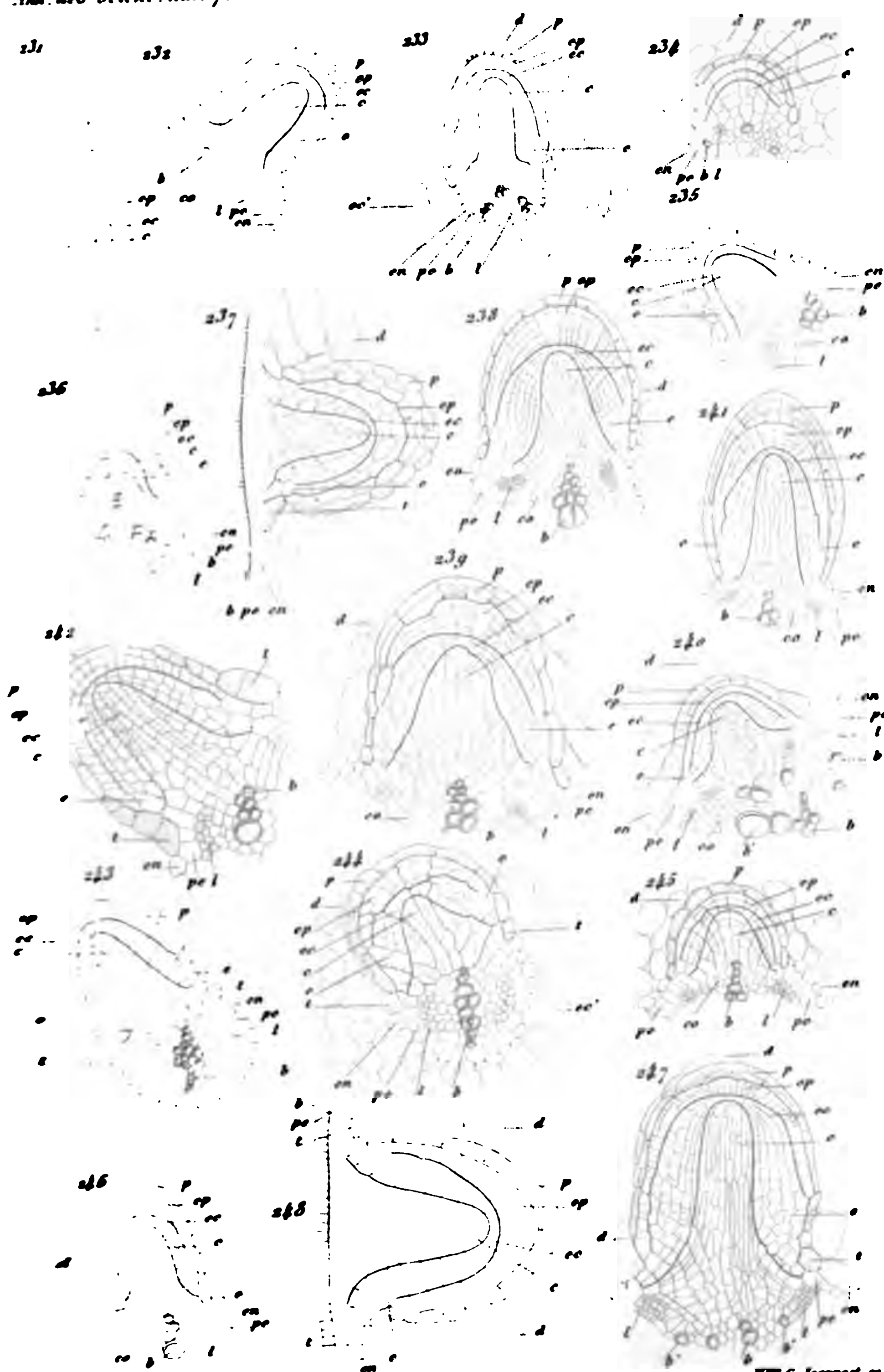
Rosacées (195) _ Ilicées (196) _ Vitées (197) _ Rhamnées (198 _ 199) _ Saxifragées (200 _ 201) _ Lythracées (202 _ 204) _ Œnothéracées (205 _ 209) _ Haloragées (210 _ 212) _ Combrétacées (213 _ 214).



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Ēmely sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones.

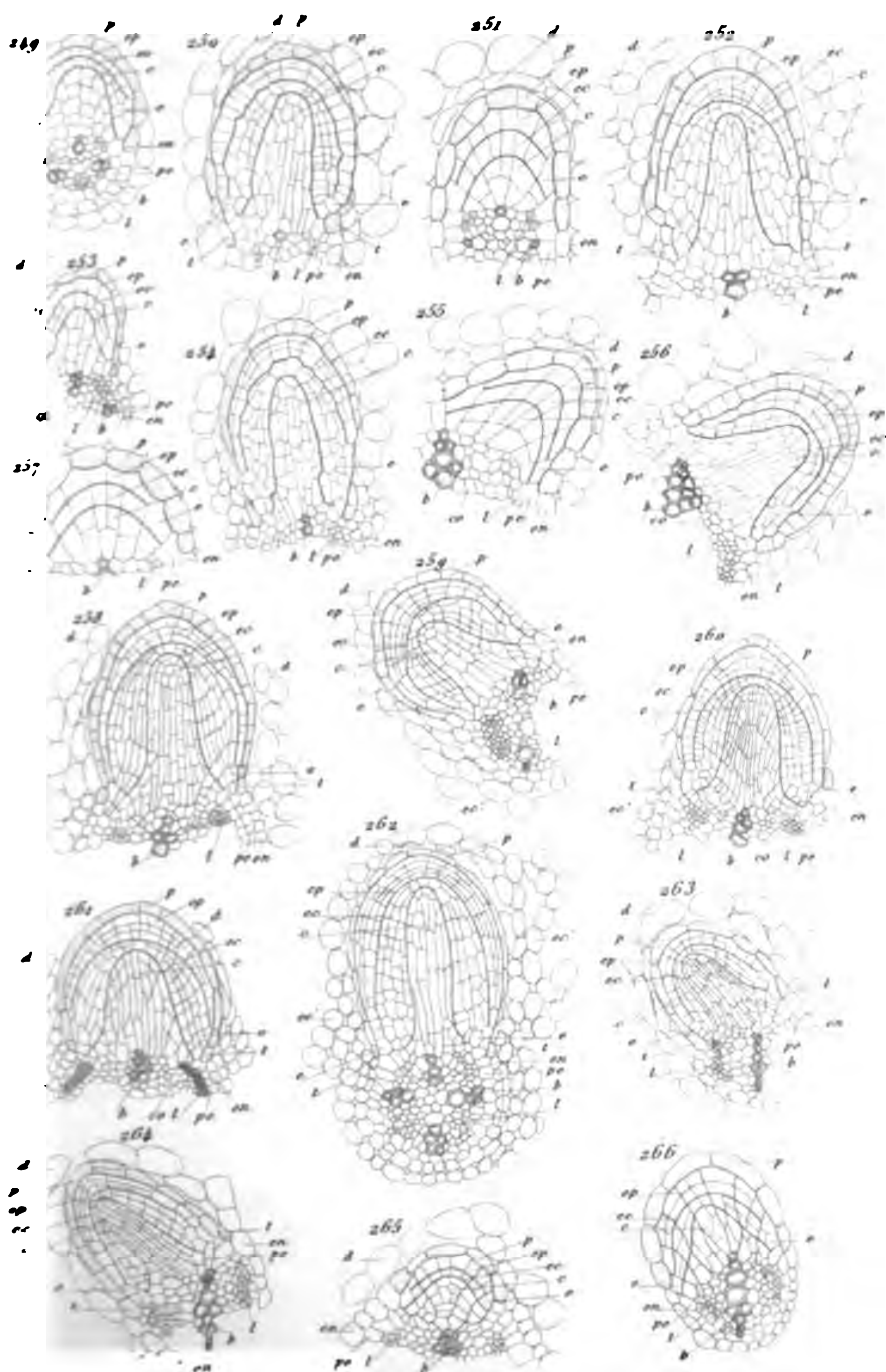
Rhizophoracées (215) _ Mélastomacées (216_217) _ Myrtacées (218_219) _ Loasées (220) _ Ombellifères (221_222) _ Araliées (223) _ Pittosporées (224) _ Cornées (225) _ Ericacées (226_230).



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. M.me C. Jeannot sc.

Origine des radicelles — Dicotylédones.

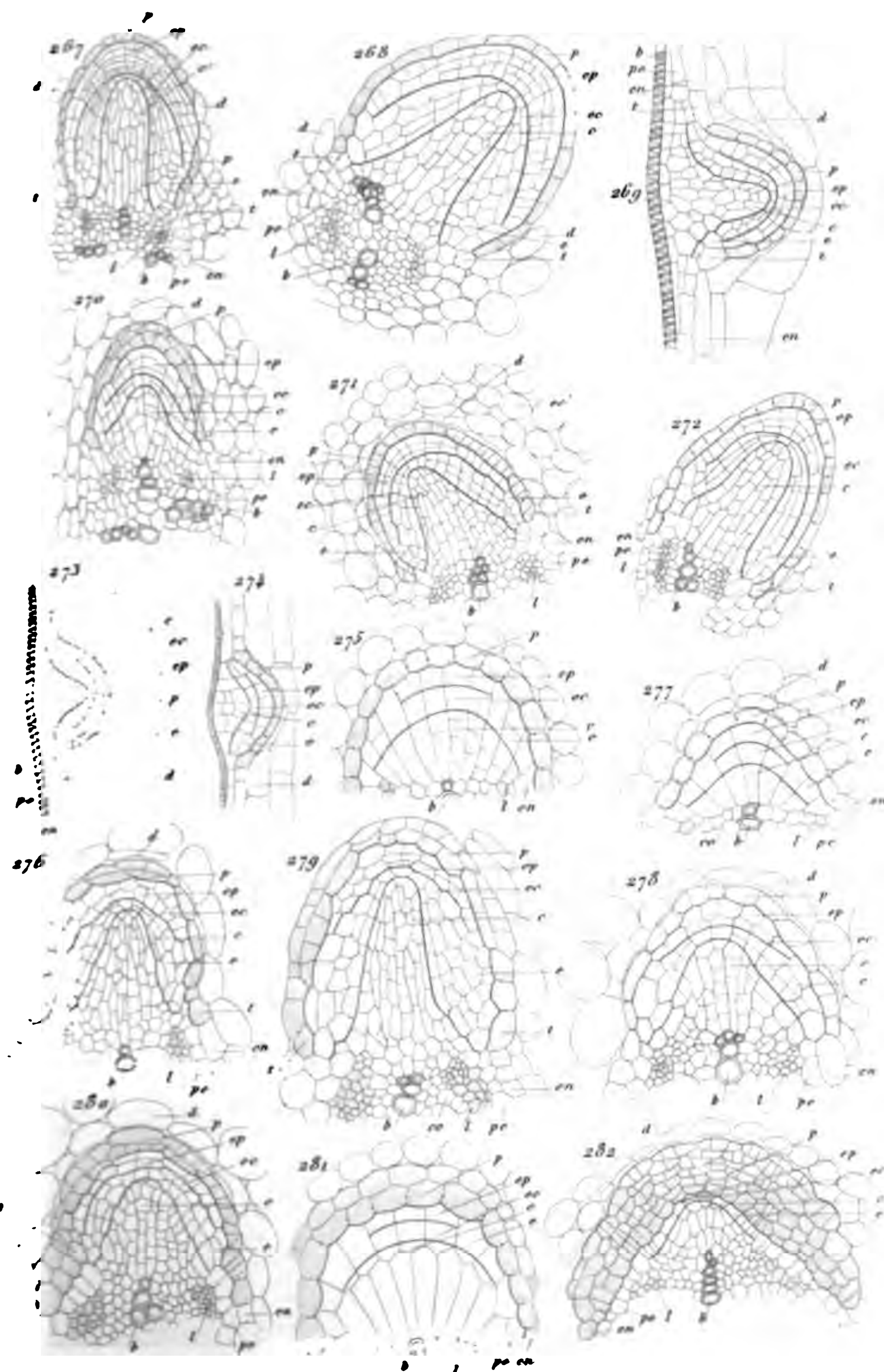
Epacridées (231) — Primulacées (232-233) — Myrsinées (234-235) — Plombaginées (236-237) — Ebénacées (238) — Styracées (239) — Solanées (240-241) — Borraginées (242) — Hydrophyllées (243) Polémoniées (244) — Convolvulacées (245-247) — Nolanées (248).



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Mme C. Jeannert sc.

Origine des radicelles — Dicotylédones.

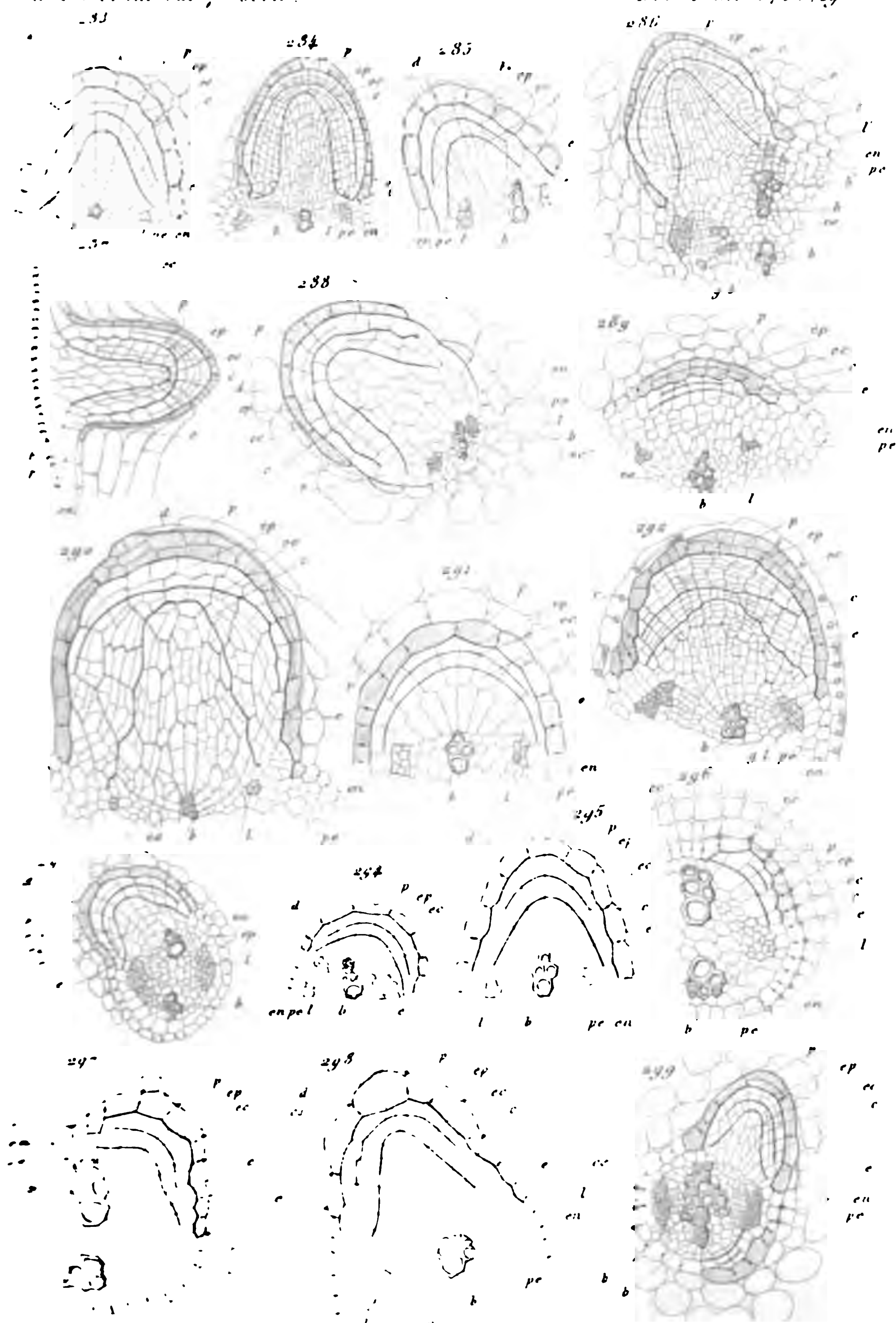
Gentianées (249-254) — Loganiées (255-256) — Apocynées (257-259) — Asclépiadées (260) — Oléacées (261) — Scrofulariacées (262) — Labiées (263-264) — Gesnéracées (265-266).



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Mme C. Jeannet sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones.

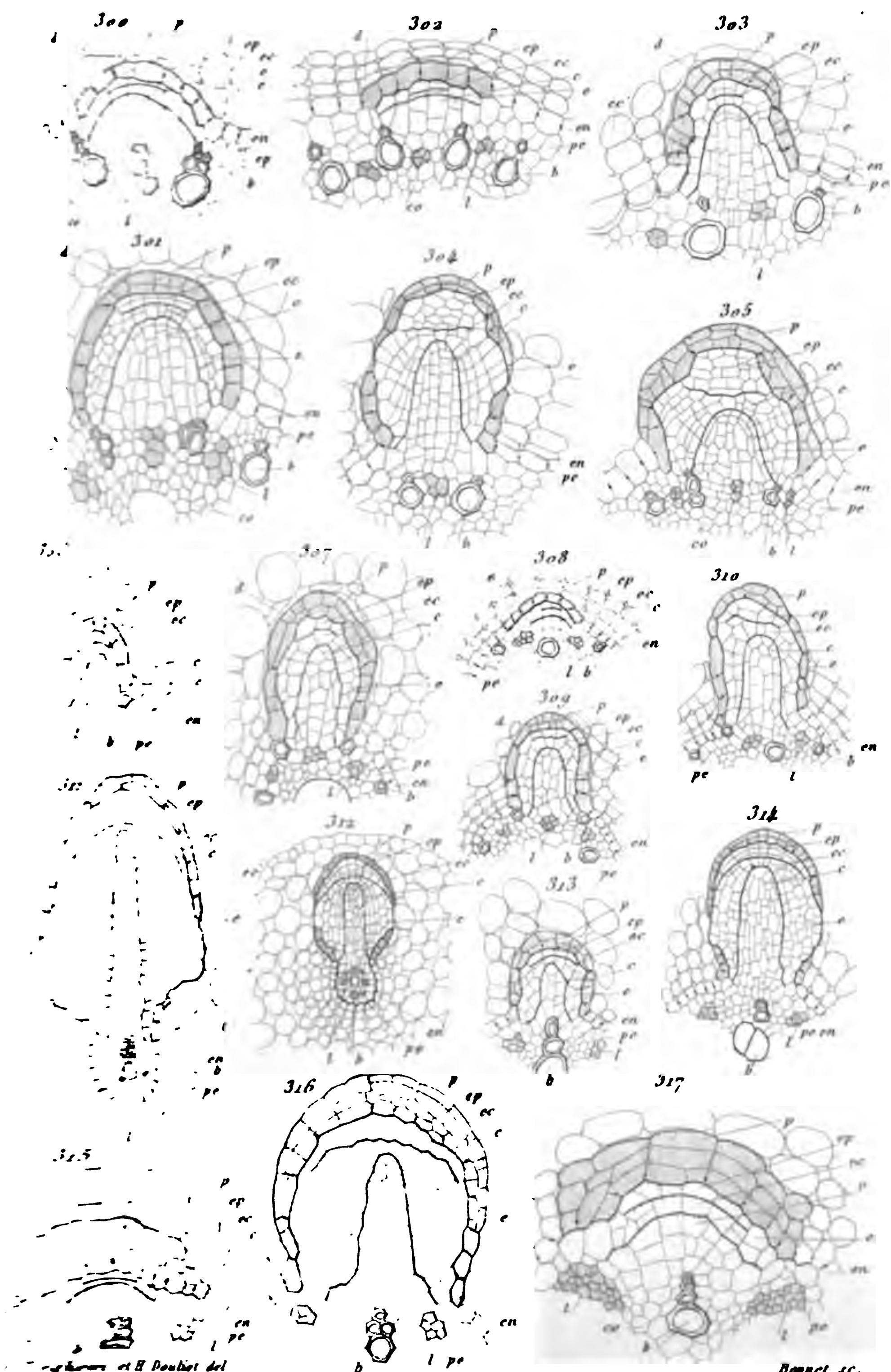
Bignoniacées (267) _ Acanthacées (268) _ Myoporées (269 _ 270) _ Verbénacées (271)
Plantaginées (272) _ Campanulacées (273) _ Lobéliées (274) _ Cucurbitacées (276 _ 282).



Van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Dicotylédones

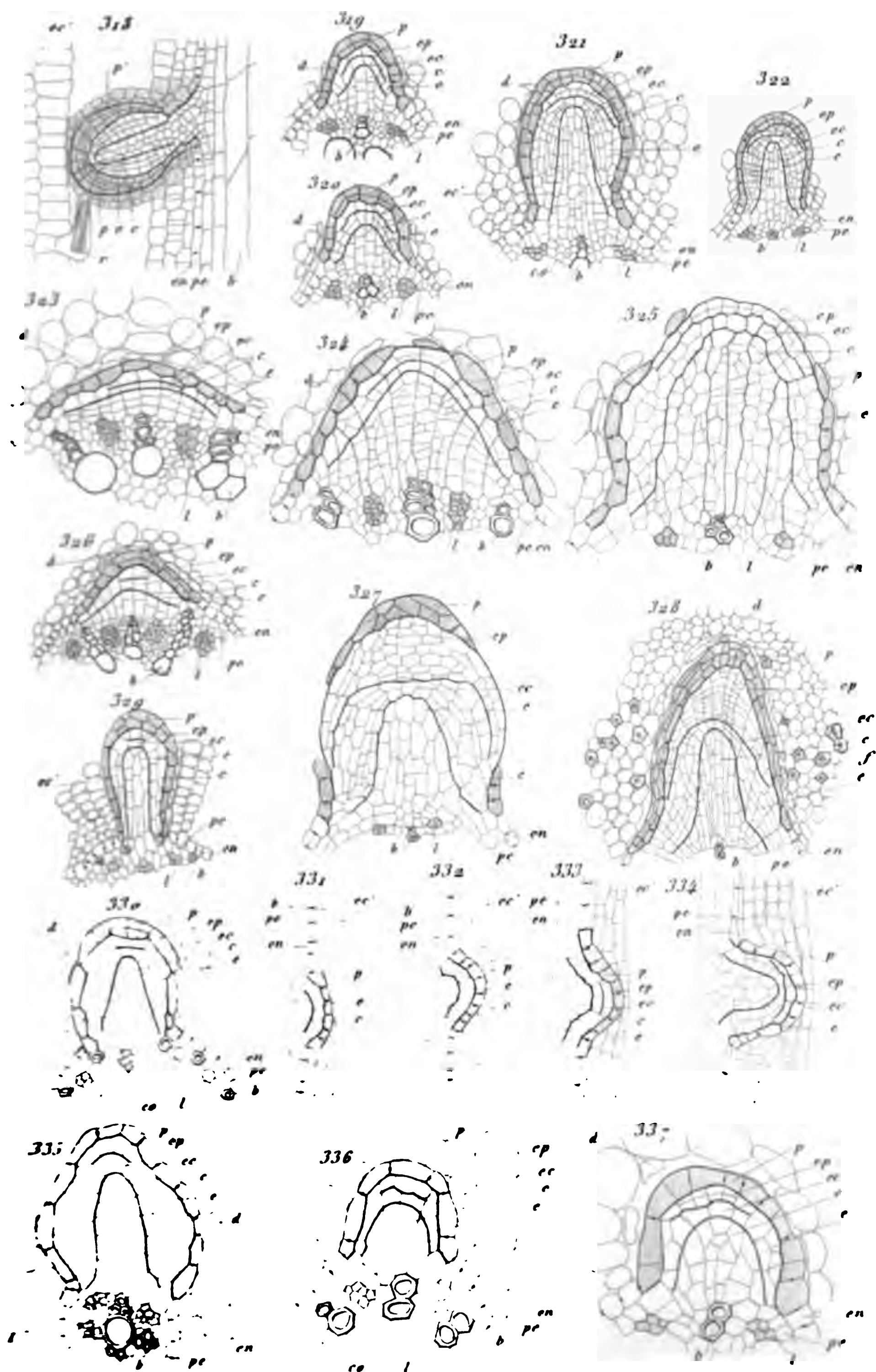
Rubiacées (283_286) _ Valérianées (287) _ Caprifoliacées (288_292) _ Dipsacées (293) _ Composées (294 _ 299)



Origine des radicelles _ Monocotylédones

Graminées (300 _ 305) _ Cypéracées (306 _ 310) _ Naïadacées (311 _ 312).

Aroïdées (313 _ 317).



Ph. van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Monocotylédones.

Aroïdées (318) _ Typhacées (319_322) _ Pandanées (323_325) _ Palmiers (326_328) _

Van Tieghem et H. Douliot del.

Bonnet sc.

Origine des radicelles — Monocotylédones

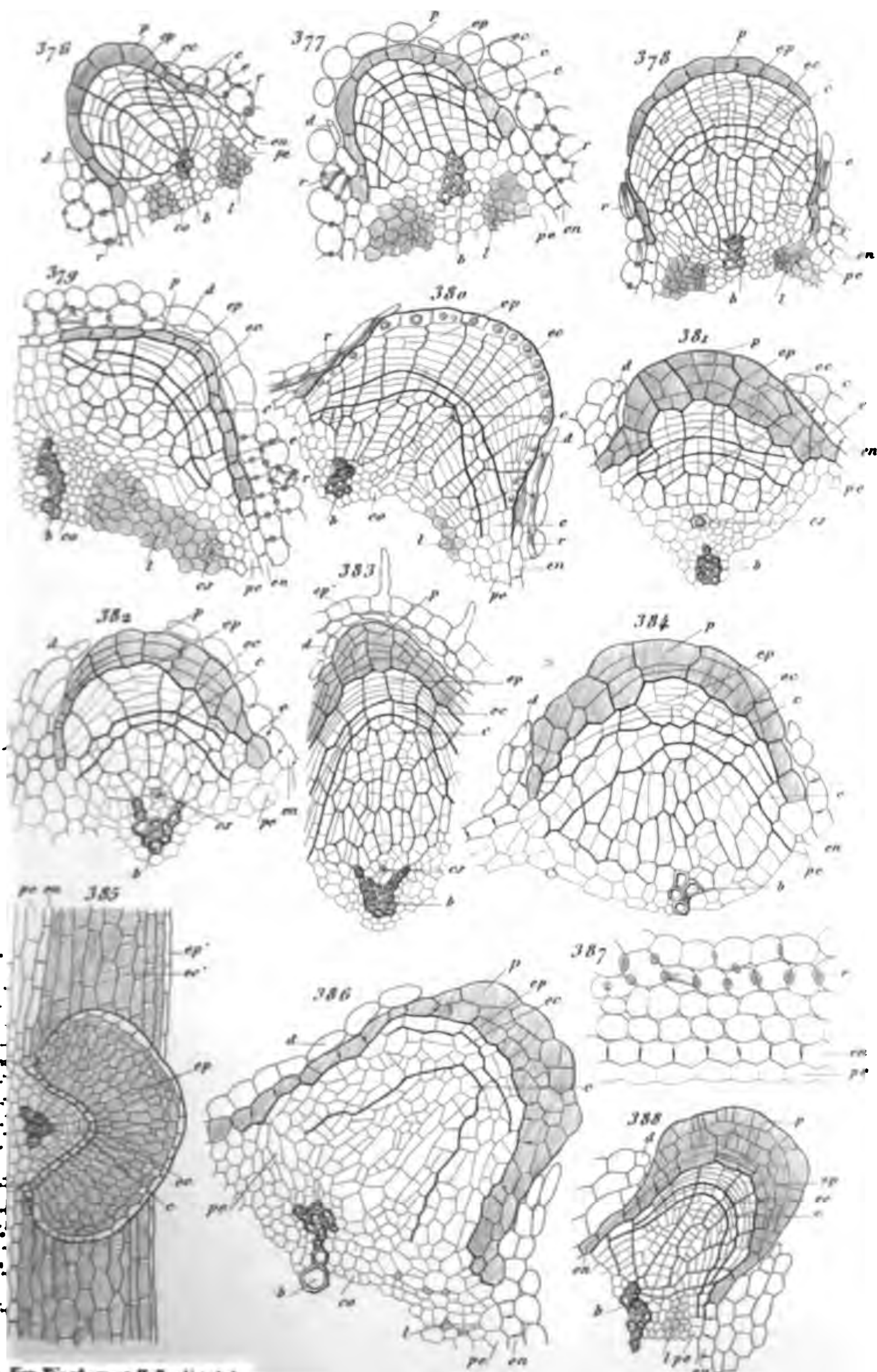
Pontederiacées (338–343). Liliacées (344–346). Amaryllidées (347). Dioscoréacées (348). Iridées (349–355). Hemodoracées (356).

Van Tieghem et H Douliot del. Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Monocotylédones.

Broméliacées (357) _ Musacées (358_359) _ Zingibéracées (360_363) _ Cannées (364_368)

[illegible] (36_ 370) _ Hydrocharidées (371_375).

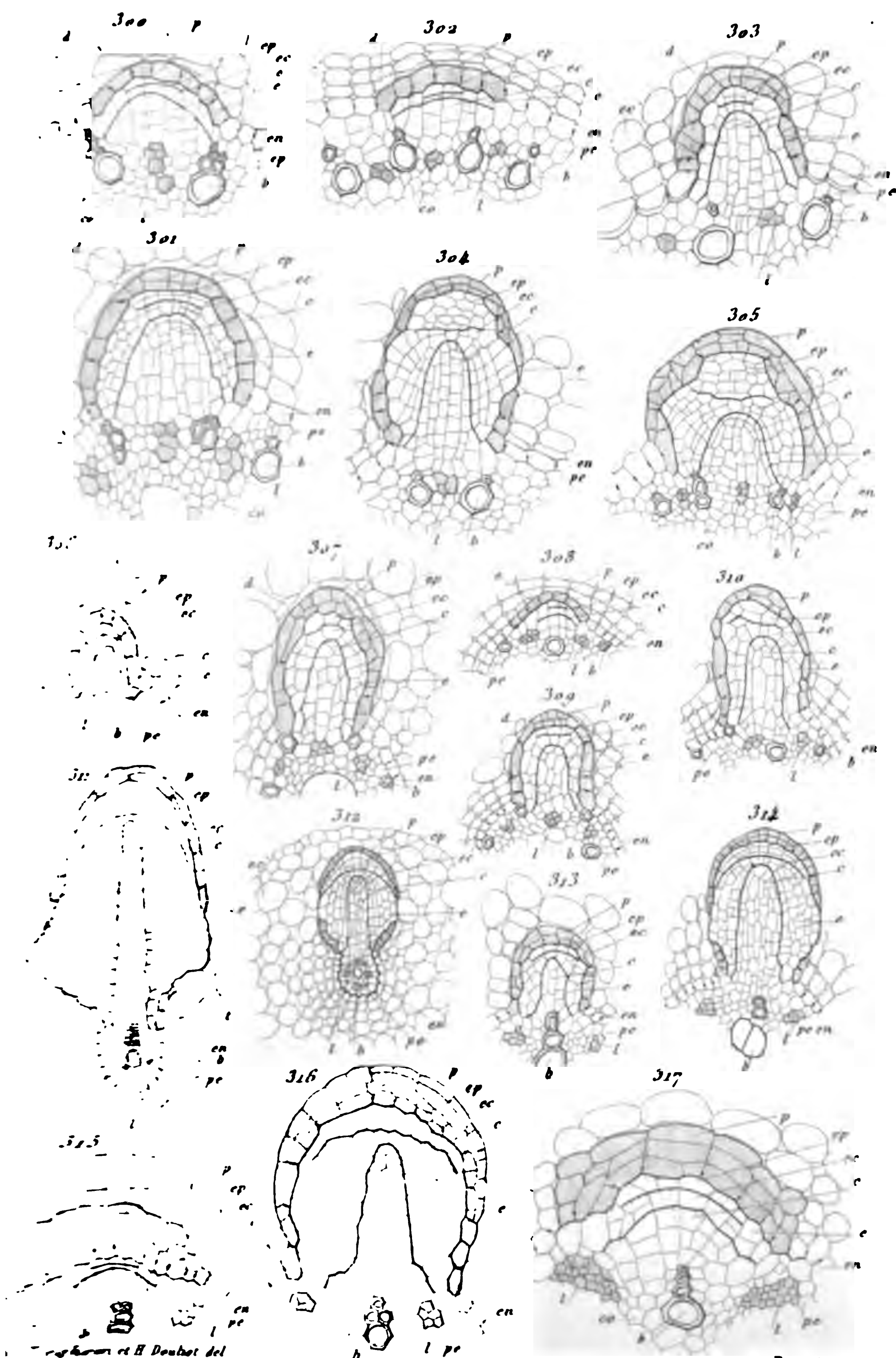


Ph. Van Tieghem et H. Douliot del.
Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Gymnospermes

Conifères (376_385)_ Cycadées (386_387) _ Gnétacées (388).

Imp. Lemercier et Cie Paris.

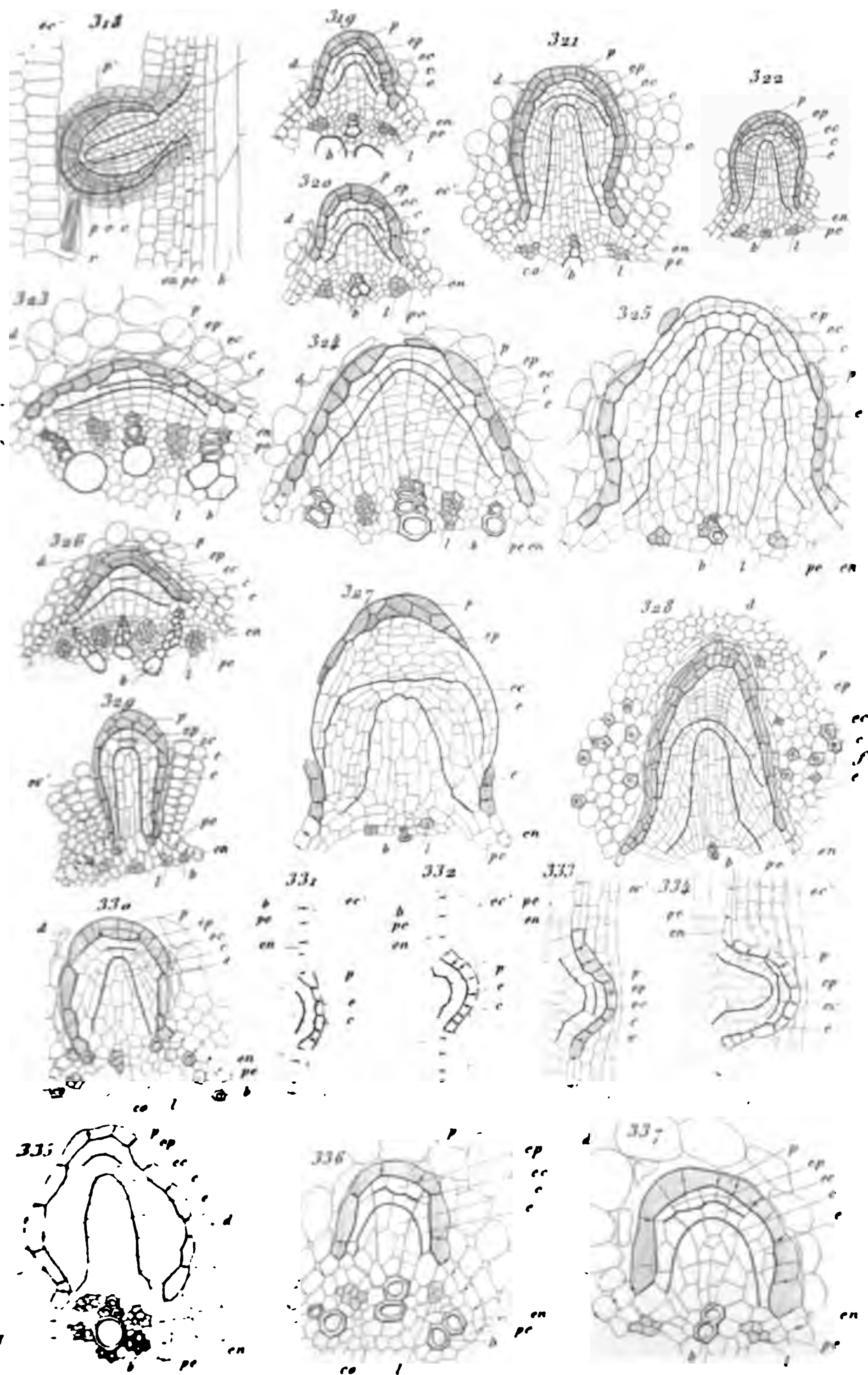


… et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Monocotylédones

Graminées (300 _ 305) _ Cypéracées (306 _ 310) _ Naïadacées (311 _ 312).

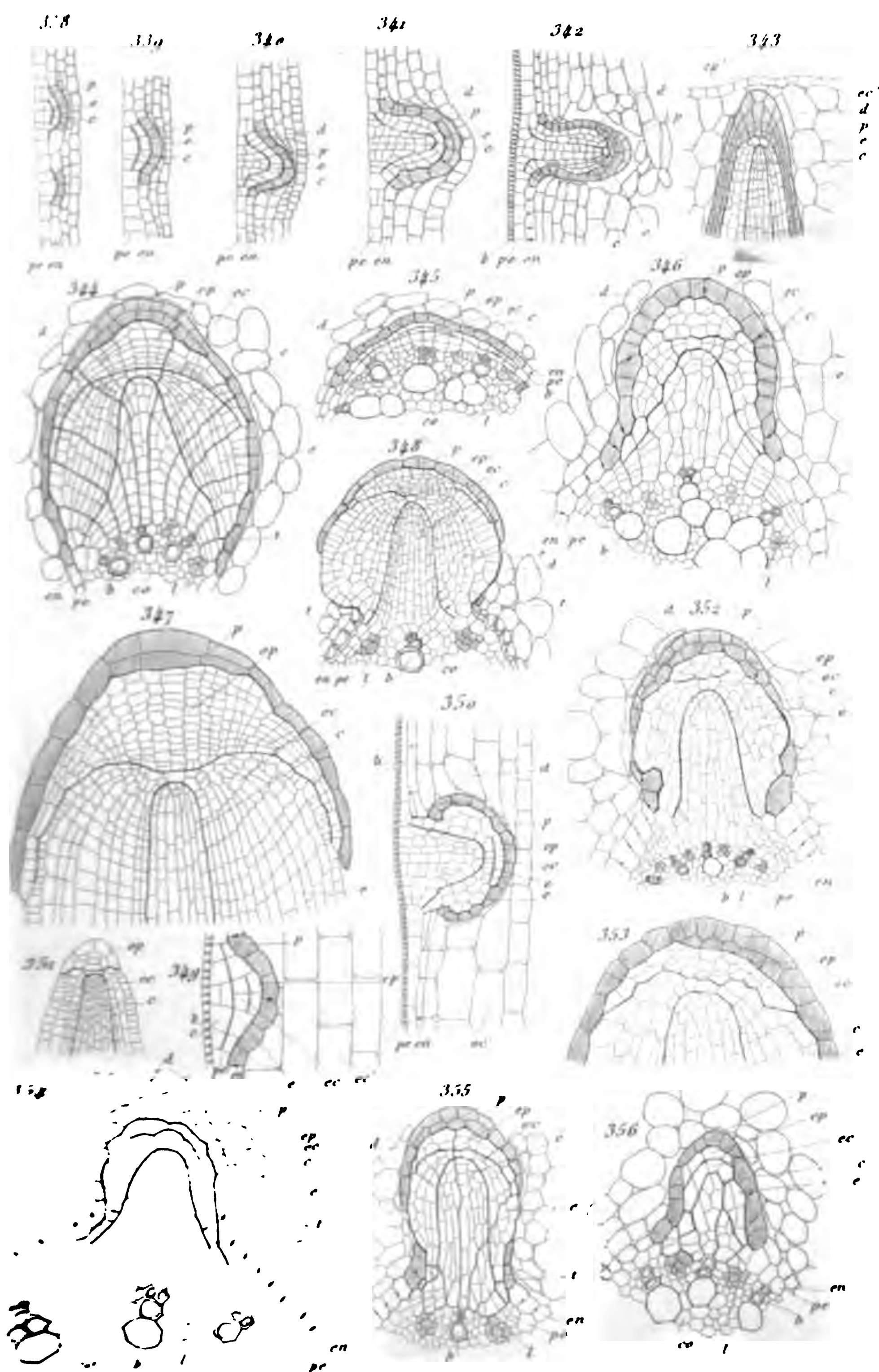
Aroïdées (313 _ 317).



Ph. van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Monocotylédones.

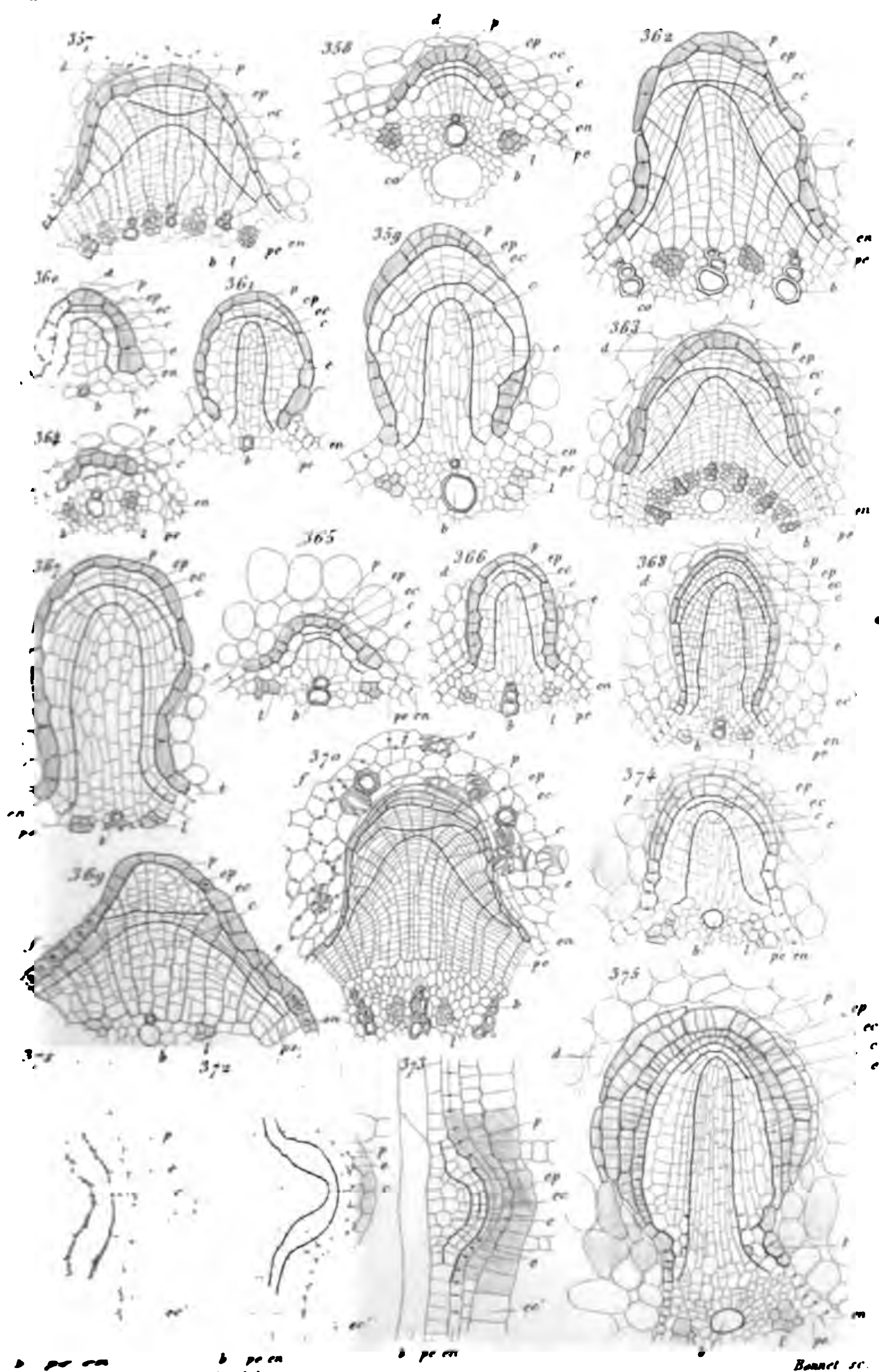
Aroïdées (318) _ Typhacées (319_322) _ Pandanées (323_325) _ Palmiers (326_328) _



Van Tieghem et H. Douliot del. — Bonnet sc.

Origine des radicelles — Monocotylédones

Pontédériacées (338–343). Liliacées (344–346). Amaryllidées (347). Dioscoréacées (348). Iridées (349–355). Hémodoracées (356).

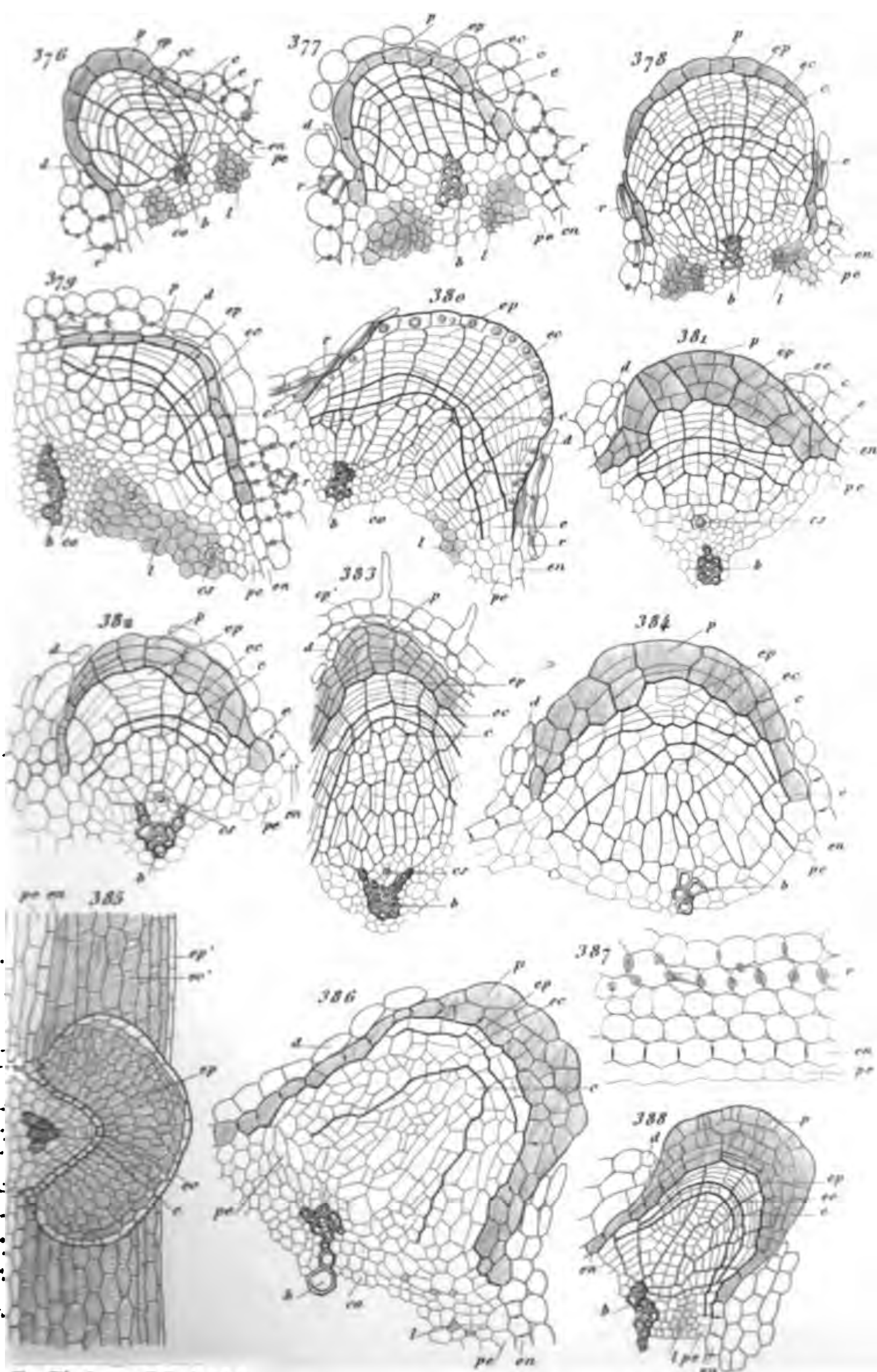


Van Tieghem et H. Douliot del.

Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Monocotylédones.

Broméliacées (357) _ Musacées (358_359) _ Zingibéracées (360_363) _ Cannées (364_368)

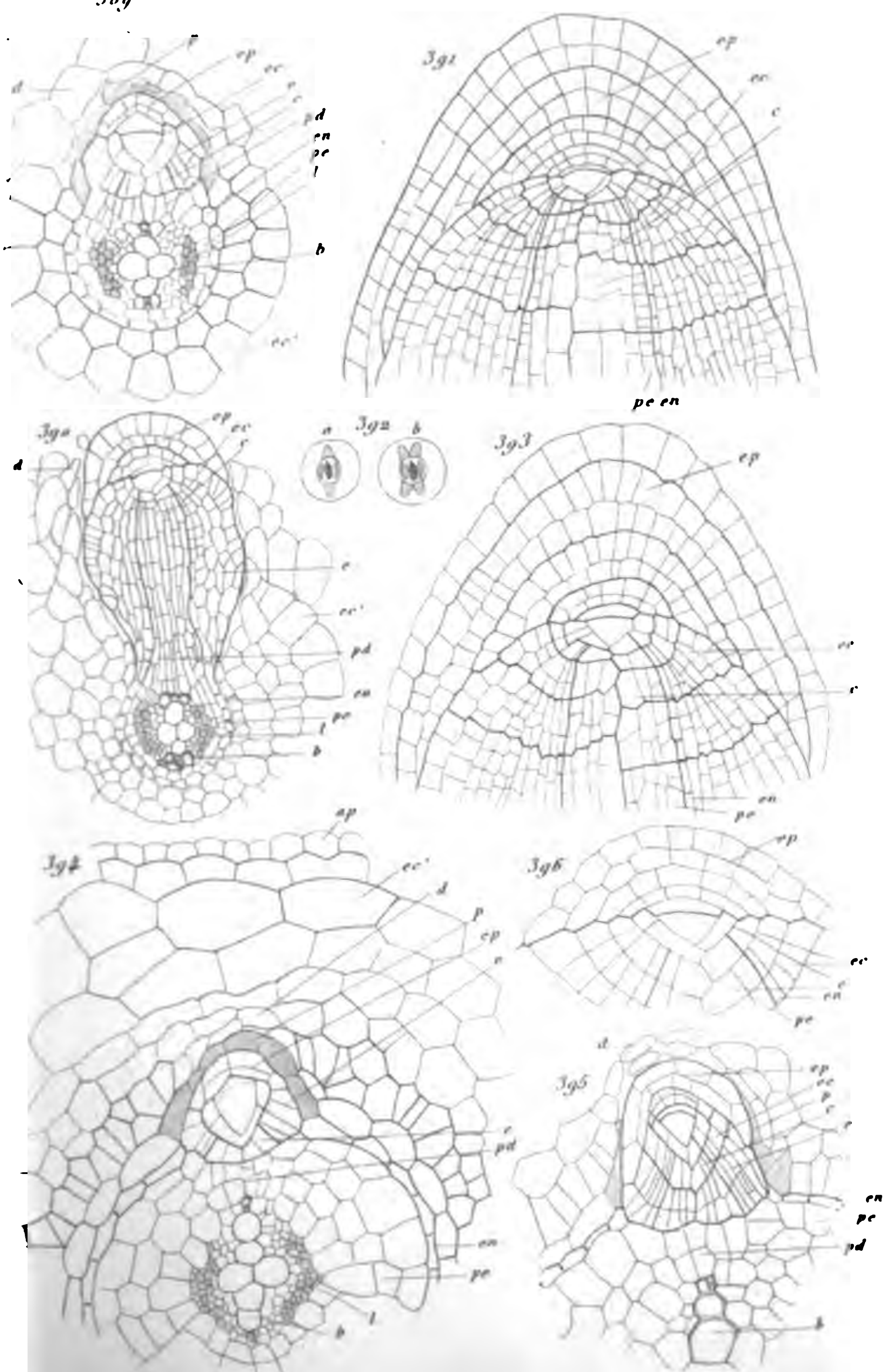


Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Gymnospermes

Conifères (376_385) _ Cycadées (386_387) _ Gnétacées (388).

Imp. Lemercier et Cie Paris



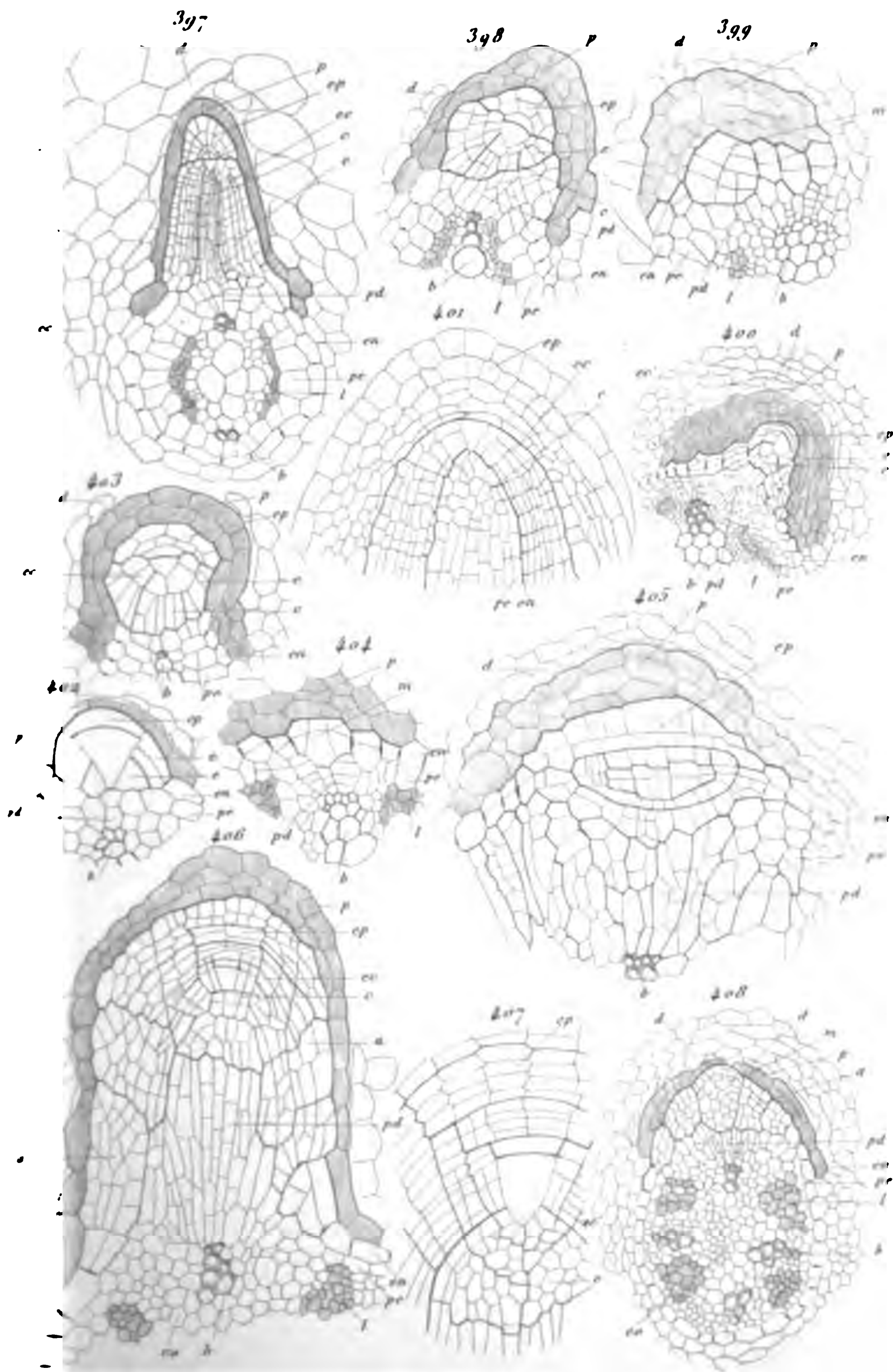
Ph. Van Tieghem et H. Douliot del.

Himely sc.

Origine des radicelles — Cryptogames vasculaires.

[illegible] (389-396).





Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Himely sc.

Origine des radicelles — Cryptogames vasculaires.

Fougères (397-403) — Marattiacées (404-407) — Ophioglossées (408).

l'assise pilifère, dix-huit à vingt assises corticales, dont la dernière, formée de cellules plus grandes, à faces latérales et transverses plissées dans presque toute leur largeur, est l'endoderme (1). Le cylindre central a un péricycle simple, çà et là double en face des faisceaux ligneux, huit faisceaux ligneux et huit faisceaux libériens alternes autour d'une moelle. La radicelle naît aux dépens d'une cellule de l'endoderme, située tantôt en face d'un faisceau ligneux (fig. 404), tantôt latéralement et même en face d'un faisceau libérien (2). Les cellules péricycliques sous-jacentes, et aussi les voisines de droite et de gauche situées entre le faisceau ligneux correspondant et les deux faisceaux ligneux voisins par-dessus les deux faisceaux libériens alternes, s'allongent beaucoup radialement et se divisent par des cloisons transverses, de manière à former un large pédicule qui porte à son sommet concave et qui pousse dans l'écorce la cellule rhizogène biconvexe en voie de segmentation (fig. 405). En même temps, de chaque côté de la cellule rhizogène, deux ou trois cellules de l'endoderme s'agrandissent et s'étalent tangentiellement de facon à suivre le développement du pédicule, dont elles revêtent les flancs. Enfin, l'assise sus-endodermique et même l'antépénultième assise corticale dilatent également leurs cellules et les divisent par des cloisons radiales, de manière à envelopper la radicelle dans une poche digestive assez épaisse, qui persiste ordinairement jusqu'à la sortie; à ce moment, elle compte au sommet trois ou quatre rangs de cellules en voie de dissociation (fig. 405 et 406).

Le grand développement de ce pédicule d'insertion, d'origine péricyclique, réduit comme on sait à un disque très court, creusé en godet, chez les Polypodiacées, mais prenant

(1) Pour la structure de la racine des Marattiacées, voy. Ph. Van Tieghem, *loc. cit.*, p. 70, 1871.

(2) Sur trois radicelles étudiées dans cette racine mère à huit faisceaux, deux correspondaient à un faisceau ligneux, une à un faisceau libérien. Sur deux radicelles étudiées dans une autre racine mère à cinq faisceaux, une était vis-à-vis d'un faisceau libérien.

déjà un fort allongement chez les Cyathéacées et les Osmondacées, la croissance de l'endoderme sur ses flancs, enfin l'épaisseur et la persistance de la poche digestive qui enveloppe le tout donnent à la formation de la radicelle de ces plantes un caractère tout spécial, qu'elle n'a pas habituellement chez les Fougères, mais que nous y avons observé cependant à un certain degré chez les Cyathéacées et les Osmondacées.

Voyons maintenant comment se cloisonne la grande cellule rhizogène logée dans le sommet concave du pédicule. Cette cellule est limitée à l'intérieur, du côté du pédicule, par une face plus ou moins fortement convexe en dedans, latéralement par des faces planes, en dehors sous la poche par une face convexe en dehors. Il s'y fait d'abord vers l'intérieur une cloison transverse qui en sépare toute la partie courbe, laquelle constitue le segment basilaire et ne tarde pas à se cloisonner dans les trois directions. Puis il se forme vers l'extérieur une cloison transverse légèrement bombée en dehors, qui sépare le premier segment épidermique ; celui-ci ne tarde pas à se diviser transversalement en deux, puis chaque moitié se dédouble à son tour, de façon que l'épiderme devient quadruple et donne plus tard quatre calottes de calyptre. Ensuite il se fait deux cloisons planes parallèles aux faces latérales, qui séparent de chaque côté un segment destiné à l'écorce, et une cloison plane transversale qui détache vers l'intérieur un segment destiné au cylindre central. Puis une nouvelle cloison transverse bombée découpe vers l'extérieur le second segment épidermique, de nouvelles cloisons planes latérales et transverses séparent sur les flancs le second segment de l'écorce et vers la base le second segment du cylindre central, et les choses continuent de la sorte indéfiniment, à mesure que la cellule mère quadrangulaire, réduite par tous ces clivages, va croissant peu à peu. Dans les segments latéraux, il se fait bientôt une cloison d'abord transverse, mais qui devient tangentielle lorsque les segments anciens, refoulés par les nouveaux, tendent à se placer horizontalement. La cellule

supérieure ou externe ainsi séparée est destinée à l'exoderme et à l'écorce externe, la cellule inférieure ou interne à l'endoderme et à l'écorce interne. On voit que non seulement la forme de la cellule initiale, mais la manière dont elle se cloisonne pour produire les diverses régions de la racine, diffèrent assez notablement de ce qui se voit chez les Fougères.

Pendant que la cellule rhizogène se divise ainsi, les cellules endodermiques voisines, qui occupent les flancs du pédicule, se cloisonnent dans les trois directions de manière à entourer le pédicule d'un manchon de petites cellules, épais vers le haut, mais qui va s'amincissant progressivement vers la base. Autour de la cellule rhizogène, les assises tangentielles de ce manchon continuent les diverses assises de l'épistèle. C'est le long de sa face interne que l'endoderme de la radicelle va se raccorder à la base avec le bord interne des faces latérales plissées des cellules endodermiques restées en place. C'est dans l'épaisseur du pédicule que se différencient les éléments vasculaires, libériens et conjonctifs qui raccordent les faisceaux ligneux, les faisceaux libériens et le conjonctif de la radicelle avec ceux de la racine mère. Quand la radicelle est en face d'un faisceau ligneux, ses vaisseaux s'ajustent non seulement avec les faisceaux ligneux correspondants, mais encore latéralement avec les deux faisceaux ligneux voisins. Quand elle est en face d'un faisceau libérien, les vaisseaux s'ajustent seulement avec les deux faisceaux ligneux voisins.

Une racine latérale d'*Angiopteris Durvilleana* a, sous l'assise pilifère, une écorce épaisse, comptant plus de quatre-vingts assises, dont la dernière est un endoderme à petites cellules, munies de larges plissements; dans toute son épaisseur, cette écorce renferme de grandes cellules à gomme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatorze faisceaux ligneux très allongés radialement et autant de faisceaux libériens alternes autour d'une moelle assez étroite. La radicelle naît aux dépens d'une cellule endodermique située soit exactement en face d'un faisceau ligneux, soit un peu latéralement (fig. 405). L'arc péricyclique sous-jacent, dans tout

l'intervalle compris entre ce faisceau ligneux et les deux faisceaux ligneux voisins, allonge radialement ses cellules et forme à la radicelle un large pédicule, dont les flancs sont recouverts par les cellules endodermiques voisines de la cellule rhizogène, agrandies et cloisonnées. En même temps, les assises corticales internes, au nombre de trois ou quatre, dilatent leurs éléments et les divisent par des cloisons radiales, de manière à envelopper le tout d'une poche digestive épaisse.

En un mot, les choses se passent ici comme dans les *Marattia*. Le pédicule y est seulement moins développé radialement et la cellule rhizogène plus large et plus plate, en forme de lentille biconvexe. Elle prend d'abord deux cloisons transverses parallèles à ses faces courbes, qui découpent l'une vers l'intérieur le segment basilaire, l'autre vers l'extérieur le premier segment épidermique. Puis il se fait deux cloisons longitudinales qui séparent de chaque côté un segment pour l'écorce et une cloison transversale qui découpe vers l'intérieur un segment pour le cylindre central. Après quoi la cellule carrée ou rectangulaire comprise entre ces quatre segments, après s'être accrue, recommence à se cloisonner de la même manière. A travers le pédicule péricyclique et le manchon endodermique qui l'entoure, s'opère plus tard le raccord des diverses régions de la radicelle avec celles de la racine mère, comme il a été dit plus haut pour les *Marattia*.

On voit, en somme, que la formation des radicelles des Marattiacées rappelle beaucoup celle des radicelles des Cyathéacées, et surtout des Osmondacées. Sous ce rapport, comme sous plusieurs autres, c'est par les Osmondacées que les Marattiacées se rattachent le plus directement aux Fougères ordinaires.

Au sommet de la racine mère développée, par exemple dans le *Marattia lævis* (fig. 407), les cloisonnements de la cellule terminale s'opèrent essentiellement comme il vient d'être dit pour la cellule mère de la radicelle. Les épidermes successifs, rendus quadruples par deux dédoublements consécutifs, demeurent, comme on l'a vu chez les *Todea*, enchâssés

dans les dépressions correspondantes de l'écorce, appuyant leur bord contre un cran profond de l'écorce (1).

Les racines latérales des Ophioglossées se ramifient, comme on sait, assez peu; nous avons pu cependant observer divers états de formation d'une radicelle dans le *Botrychium daucifolium* (fig. 408). Sous l'assise pilifère, la racine latérale de cette plante compte seize à dix-huit assises corticales, dont la dernière est un endoderme à larges plissements. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux ligneux et quatre faisceaux libériens autour d'une moelle. La radicelle prend naissance dans une cellule endodermique située en face d'un faisceau ligneux ou un peu latéralement. L'arc péricyclique sous-jacent allonge radialement ses cellules et forme une large protubérance, moins haute que chez les Marattiacées, mais dont les flancs sont également recouverts par les deux cellules endodermiques qui avoisinent de chaque côté la cellule rhizogène, accrues et cloisonnées. L'assise sus-endodermique se développe aussi tout autour du mamelon en une poche digestive, double dans la majeure partie de son étendue; mais cette poche se résorbe d'assez bonne heure à l'extrémité.

La cellule rhizogène prend d'abord vers l'intérieur trois cloisons obliques planes, qui détachent les cellules basilaires; après quoi, la cellule mère tétraédrique ainsi formée se cloisonne d'abord parallèlement à la face externe bombée pour séparer le premier segment épidermique, puis par trois cloisons parallèles à ses trois faces planes, et ainsi de suite. Chaque segment épidermique, après avoir découpé une cellule marginale, se dédouble transversalement dans sa région médiane, et plus tard, les deux moitiés se séparent par refoulement de la cloison d'appui et rejet des cellules marginales dans le rang de la moitié supérieure, pour produire deux

(1) D'après M. Russow (1873) et M. Schwendener (1882), la racine développée des Marattiacées aurait au sommet plusieurs, au moins quatre cellules terminales équivalentes. Nous avons trouvé au sommet de la racine de ces plantes une seule cellule terminale, comme le montre la figure 407. L'un de nous reviendra prochainement sur ce sujet dans un travail spécial.

calottes de calyptre. Chaque segment cortico-stélique prend d'abord une première cloison tangentielle, qui sépare en dehors une cellule destinée à l'écorce externe avec l'exoderme; puis la cellule interne se dédouble de nouveau, pour donner en dehors l'écorce interne avec l'endoderme, en dedans le cylindre central. Par la forme de la cellule initiale et la marche des cloisonnements qui s'y opèrent, les *Botrychium* ressemblent donc aux Fougères beaucoup plus qu'aux Marattiacées.

Hydroptérides (pl. XXVII, fig. 409-412). — Les *Salvinia* ne formant pas de racines et les *Azolla* ne ramifiant pas les leurs, il n'y a à étudier l'origine des radicelles que chez les Marsiliacées.

La racine latérale du *Marsilia Drummondii* a, sous l'assise pilifère, huit assises corticales à cellules disposées en séries radiales et laissant entre elles des méats quadrangulaires, dont la dernière est un endoderme à éléments aplatis et plissés. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux qui confluent au centre en une bande diamétrale et dont le vaisseau médian externe s'appuie contre une cloison péricyclique, et deux faisceaux libériens alternes composés chacun de cinq tubes criblés étroits, isolés, alternes avec les cellules du péricycle et unis à la bande vasculaire par un rang de cellules conjonctives (fig. 409). La radicelle naît dans une cellule endodermique exactement superposée à un faisceau ligneux, cellule plus large que les autres, qui correspond en dedans à deux cellules péricycliques, en dehors à deux séries radiales de l'écorce. Les deux cellules péricycliques sous-jacentes, ainsi que la voisine de droite et de gauche, se divisent, les premières par des cloisons radiales, les secondes par des cloisons tangentielles, mais sans s'accroître radialement, se bornant ainsi, comme dans les Fougères ordinaires, à former un disque d'insertion très aplati, creusé en godet vers l'extérieur. Les deux cellules sus-endodermiques superposées à la cellule rhizogène sont d'abord un peu refoulées par elle, puis bientôt digérées; ensuite c'est le tour des deux cellules

suivantes, et la radicelle digère ainsi directement les deux séries radiales de l'écorce qui lui sont superposées. Il n'y a pas du tout ici de poche digestive (fig. 409).

La cellule rhizogène, bombée en dedans et en dehors en forme de lentille biconvexe, prend d'abord vers l'intérieur trois cloisons obliques, concaves en dehors, qui convergent au centre de sa face interne et dont l'une est dirigée vers la base de la racine mère, les deux autres à droite et à gauche vers son sommet (fig. 412). Les trois cellules basilaires une fois détachées de la sorte, la cellule tétraédrique prend d'abord une cloison transversale convexe en dehors, qui découpe le premier segment épidermique, puis trois cloisons parallèles aux faces planes, qui séparent trois segments triangulaires, et ainsi de suite, comme chez les Fougères. Les segments épidermiques ne se dédoublent pas transversalement; ils restent simples et donnent plus tard autant de calottes à la calyptre. Les choses se passent donc ici comme chez les *Trichomanes* parmi les Fougères. Chaque segment triangulaire interne, après s'être divisé en deux sextants par une cloison à peu près radiale (fig. 412), se partage par une cloison tangentielle vers le tiers à partir de l'extérieur; la petite cellule externe ainsi découpée se divise bientôt par une cloison tangentielle pour former en dehors l'exoderme, en dedans la seconde assise corticale, qui demeure simple (fig. 409). La grande cellule interne prend ensuite une nouvelle cloison tangentielle; la cellule externe ainsi découpée se dédouble aussitôt tangentiellement et donne en dedans l'endoderme, en dehors la zone corticale interne, qui se dédouble plus tard un certain nombre de fois en direction centripète. La cellule interne est destinée au cylindre central et sépare bientôt en dehors le péricycle.

Au moment de la sortie, la radicelle a dans son corps, au-dessus de l'épistèle formée par les cellules basilaires, trois assises de segments. L'épistèle est cloisonnée deux fois transversalement, la première série de segments une seule fois, les deux autres pas du tout. Son épiderme a aussi quatre assises, appuyées au bord supérieur de ces quatre segments.

L'étude des coupes longitudinales axiles du sommet de la racine terminale montre que le cloisonnement de la cellule tétraédrique s'y opère de tout point comme celui de la cellule mère de la radicelle (fig. 410). Ici encore les segments épidermiques demeurent simples (1). La première cloison tangentielle des segments triangulaires découpe une cellule dont le dédoublement ultérieur produit l'exoderme et la seconde assise corticale, qui demeure indéfiniment simple. La seconde cloison tangentielle de ces segments sépare en dedans le cylindre central et en dehors une cellule de laquelle se détache d'abord l'endoderme en dedans, puis progressivement, de dehors en dedans, les diverses assises, au nombre de six d'ordinaire, de l'écorce interne. Avec l'endoderme et l'assise corticale externe, on obtient ainsi les huit assises corticales que nous avons constatées au début dans la racine mère au-dessous de l'assise pilifère. C'est seulement si l'on fait abstraction de l'endoderme, dont la différenciation est très précoce, que l'on peut dire que le développement de l'écorce interne est centripète.

Ici, comme chez les Fougères, cette différenciation très précise de l'endoderme est en rapport avec la précocité des radicelles, qui naissent déjà à une très petite distance du sommet. Chaque sextant primitif situé en face d'un faisceau ligneux produit quatre cellules mères de radicelle (fig. 411). A cet effet, il se dédouble d'abord deux fois de suite transversalement, puis chaque quart se dédouble de nouveau. Des deux cellules endodermiques issues de chacun de ces derniers dédoublements, celle qui est tournée vers le sommet de la racine mère grandit beaucoup et devient une cellule rhizogène. Les cellules intercalaires sont aplaties et stériles (fig. 411).

(1) Pourtant nous avons vu quelquefois l'un des segments épidermiques, après avoir découpé sa cellule marginale, se dédoubler tangentiellement dans sa région médiane. Ce segment-là donnait donc à la calyptre deux calottes, plus tard indépendantes, comme chez les Fougères. Ce dédoublement accidentel explique l'erreur de Hanstein, qui admettait que les segments externes de la racine des *Marsilia* se dédoublent toujours.

En résumé, on voit que le cloisonnement tangentiel des segments internes ou cortico-stéliques s'opère, dans les *Marsilia*, comme dans la seconde série de genres de Polypodiacées (*Polypodium*, *Blechnum*, etc.) étudiés plus haut, ou comme dans les Cyathéacées, etc., c'est-à-dire que, des deux zones corticales, c'est l'externe qui est mince et l'interne qui est épaisse.

Même structure de la racine latérale et même formation des radicelles avec segments épidermiques simples et avec zone corticale externe mince, séparée avant le cylindre central, dans le *Pilularia globulifera*.

Les *Azolla* (*A. caroliniana*, *filiculoides*) ne ramifient pas leurs racines latérales; mais les cloisonnements s'y opèrent au sommet de ces racines de la même manière que dans les *Marsilia* et *Pilularia*. Il faut remarquer seulement qu'une fois produit le premier segment épidermique, qui se dédouble ici, la cellule mère n'en forme pas d'autre. L'épiderme y demeure unique, et, une fois exfoliées les deux calottes de la calyptre, la racine est désormais dépourvue d'épiderme. On reviendra sur ce sujet dans la seconde partie de ce travail.

D'après MM. Nägeli et Leitgeb, dans les Marsiliacées, comme dans les Fougères, la première cloison tangentielle des segments triangulaires découperait en dedans le cylindre central, en dehors l'écorce dont l'assise externe est pour eux l'épiderme; après la séparation de « l'épiderme », la cellule corticale se partagerait en deux, l'une pour l'écorce externe qui demeure simple, l'autre pour l'écorce interne, qui se divise un certain nombre de fois en direction centripète, l'endoderme se séparant en dernier lieu (*loc. cit.*, p. 115). On voit que sur tous ces points, l'erreur commise par ces botanistes est la même que pour les Polypodiacées de la seconde série de genres distingués plus haut (*Asplenium*, *Blechnum*, etc.); il n'y a donc pas lieu d'y insister davantage. Pourtant il est exact qu'ici, mais seulement une fois l'endoderme séparé, le cloisonnement tangentiel du reste de la zone corticale interne est régulièrement centripète, tandis qu'il est centrifuge dans

sa direction générale chez la plupart des Fougères à écorce interne épaisse.

II. — ÉQUISÉTINÉES.

Equisétacées (pl. XXVII, fig. 413-416). — Sous l'assise pilifère, la racine latérale de l'*Equisetum variegatum* a huit assises corticales; les quatre externes forment une zone compacte, sans méats; les deux suivantes ont leurs cellules superposées et séparées latéralement par des lacunes aérifères; les deux internes ont leurs cellules, au nombre de douze ordinairement superposées entre elles et aux précédentes, et seulement séparées par de petits méats quadrangulaires. La plus extérieure de celles-ci, c'est-à-dire l'avant-dernière assise corticale, porte des plissements sur les faces latérales et transverses, et plus tard épaissit et brunit sa face externe; l'autre, formée de cellules plates, est dépourvue de plissements; ensemble ces deux assises constituent l'endoderme, tardivement dédoublé, comme il sera dit plus loin (fig. 413).

Le cylindre central, dépourvu de péricycle, comme on sait, a trois faisceaux ligneux, réduits chacun à un seul vaisseau et appuyés de quatre en quatre contre une cloison de l'endoderme; les trois faisceaux libériens alternes sont formés chacun de trois tubes criblés étroits, appuyés aussi chacun contre une cloison endodermique, séparés l'un de l'autre par deux cellules ordinaires, et du vaisseau par une seule cellule; le centre est occupé par un large vaisseau tardivement épaissi, séparé des vaisseaux externes par un rang de cellules conjonctives (1).

La radicelle prend naissance dans une des deux cellules endodermiques non plissées qui avoisinent un vaisseau. Son axe fait donc avec le rayon correspondant un certain angle, et par conséquent toutes les radicelles sont disposées sur la racine mère en six séries longitudinales, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux (fig. 413). La

(1) Pour la structure de la racine des *Equisetum*, voy. Ph. Van Tieghem, *loc. cit.*, p 76, 1871.

diplostichie signalée çà et là chez les Fougères est donc ici normale. Les deux cellules endodermiques de droite et de gauche s'accroissent aussi un peu et se cloisonnent tangentiellement pour permettre le raccord des faisceaux libériens de la radicelle avec ceux de la racine mère et le raccord des assises plissées par les cellules triplissées. En même temps que la cellule rhizogène s'accroît et se cloisonne, la cellule plissée qui lui est superposée se dilate et se divise par des cloisons d'abord radiales, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple; plus tard cette poche se dédouble par une cloison tangentielle tout autour de l'extrémité de la radicelle. Elle persiste jusqu'après la sortie, se montrant plus résistante encore que chez les Cyathéacées, Osmondacées, Marattiacées, etc. C'est elle qui attaque et digère successivement toutes les assises corticales (fig. 413).

Bombée à la fois en dedans, où elle refoule le vaisseau en écrasant la cellule conjonctive qui le sépare du gros vaisseau axile (fig. 414), et plus fortement encore en dehors sous la poche, la cellule rhizogène prend d'abord vers l'intérieur trois cloisons obliques convergeant au milieu de sa face interne, qui détachent les trois segments basilaires. Après quoi la cellule tétraédrique ainsi limitée se cloisonne parallèlement à sa face bombée pour séparer l'épiderme, puis parallèlement à ses trois faces planes pour découper les trois segments triangulaires, et ainsi de suite à mesure qu'elle s'accroît. Les segments épidermiques, après avoir séparé leurs cellules marginales, dédoublent transversalement leur région médiane; puis chaque moitié se dédouble de nouveau dans sa région médiane (fig. 415); parfois même l'une d'elles ou toutes les deux se dédoublent une seconde fois. Le segment épidermique prend donc en définitive quatre, cinq ou six assises. Plus tard toutes ces assises se séparent comme il a été expliqué chez les Fougères, et produisent autant de calottes de calyptre. Les segments internes triangulaires prennent une cloison tangentielle vers le milieu, qui isole en dedans le cylindre central, en dehors l'écorce. Puis la cellule externe se dédouble

par une cloison tangentielle qui sépare l'exoderme, tandis que la moitié interne se divise de nouveau plusieurs fois en direction centrifuge pour donner d'abord l'endoderme, qui se dédouble plus tard, puis les diverses assises de l'écorce. L'ordre des deux premières cloisons tangentielles n'est donc pas le même ici que chez la plupart des Filicinées (fig. 413 et 414).

A la sortie, sous sa poche digestive encore complète et dont l'anneau inférieur demeurera incorporé à sa base rétrécie, la radicelle de l'*Equisetum trachyodon*, par exemple (fig. 415), a trois segments en verre de montre; l'externe, dédoublé dans toute son étendue, a en outre sa calotte interne dédoublée dans sa région médiane; le moyen est dédoublé et la flexion de la cloison, opérée à droite, n'est pas encore faite à gauche; l'interne est encore simple. Le corps de la racine est formé aussi de trois assises de segments, les deux inférieures divisées transversalement, la supérieure encore indivise. Tout à la base, se forment des cellules scléreuses, produites dans l'épaisseur de l'endoderme divisé de la racine mère (*s*, fig. 413, 414 et 415).

A l'extrémité de la racine mère en voie de croissance (fig. 416), la marche du cloisonnement de la cellule terminale et des segments issus d'elle est exactement la même que dans la cellule mère de la radicelle. Ici aussi chaque épiderme partiel s'accroît en épaisseur plus longtemps que chez les Filicinées et se divise tangentiellement à plusieurs reprises, de manière à prendre six assises de cellules ou même davantage. Ici aussi, c'est la première cloison tangentielle des segments triangulaires qui sépare le cylindre central et l'écorce. Sous ces deux rapports, les choses se passent bien dans ces plantes comme MM. Nägeli et Leitgeb les ont décrites (*loc. cit.*, p. 104 et suiv.). On peut s'étonner qu'ayant constaté le dédoublement des segments externes dans les *Equisetum*, ces auteurs aient méconnu ce phénomène chez les Fougères.

III. — LYCOPODINÉES.

Les racines des Lycopodinées se ramifient, comme on sait, par une série de dichotomies à angle droit, dont la première

se fait dans un plan perpendiculaire à l'axe de la tige. Il semble donc qu'il n'y ait pas de radicelles chez ces plantes. Pourtant, quand on remonte à la première origine de ces bifurcations, on voit qu'il ne s'agit pas, au moins dans les *Selaginella*, d'une véritable dichotomie, mais bien d'une ramification latérale s'opérant très près du sommet et où chaque fois la branche unique prend une croissance égale à celle du prolongement du tronc, qu'elle rejette latéralement, en un mot d'une fausse dichotomie. Chaque branche latérale est alors une radicelle extrêmement précoce; toutes ensemble les radicelles de premier ordre sont disposées sur la racine mère supposée rectiligne en quatre séries équidistantes; il en est de même des radicelles de second ordre sur les radicelles primaires, etc. Il y a donc lieu de rechercher l'origine de ces radicelles précoces.

Considérons d'abord les *Selaginella* (pl. XXVII, fig. 417 et 418).

La racine du *S. inæqualifolia* possède au sommet une cellule tétraédrique. Parallèlement à sa face externe bombée, cette cellule découpe des segments épidermiques, bientôt dédoublés et produisant chacun deux calottes de calyptre comme dans les Fougères, mais demeurant enchâssés dans la dépression correspondante de l'écorce, comme chez les Osmondacées et les Marattiacées. Parallèlement à ses trois faces internes planes, elle découpe des segments triangulaires. Chacun de ceux-ci prend d'abord une cloison tangentielle, puis une seconde cloison extérieure à la première. Des trois cellules ainsi formées, l'interne, séparée la première, produit le cylindre central et découpe de bonne heure le péricycle en dehors. L'externe ne prend qu'une cloison tangentielle et sépare l'exoderme avec la seconde assise corticale. La moyenne se dédouble d'abord et, tandis que sa moitié interne devient l'endoderme, sa moitié externe se divise un certain nombre de fois pour produire la zone corticale interne. En un mot, les choses se passent ici sous ce rapport comme dans les Fougères à écorce interne épaisse, ou comme dans les Marsiliacées.

Dans l'extrémité ainsi constituée, la radicelle prend naissance très près du sommet, dans un segment triangulaire, après son premier dédoublement tangentiel, mais avant le second; elle se forme aux dépens de la cellule externe issue de ce premier dédoublement, cellule destinée, comme il vient d'être dit, à former l'écorce de la racine (fig. 417). Cette cellule prend d'abord trois cloisons obliques convergeant vers l'intérieur, qui détachent trois cellules basilaires comprenant une cellule tétraédrique. Celle-ci se cloisonne ensuite, d'abord parallèlement à sa face externe pour découper le premier épiderme, puis parallèlement à ses trois faces internes pour découper trois segments triangulaires destinés à l'écorce et au cylindre central, et ainsi de suite. Chaque segment épidermique se dédouble tangentiellement; chaque segment triangulaire sépare d'abord le cylindre central et l'écorce, puis divise ces deux régions comme il a été dit plus haut pour la racine mère. En même temps les cellules péricycliques sous-jacentes s'allongent obliquement vers le haut et se cloisonnent transversalement, formant ainsi au-dessous de la radicelle un pédicule qui la rattache au cylindre central et qui s'allonge à mesure que l'écorce de la racine mère s'épaissit (fig. 418). Ce pédicule est comparable à celui des Osmondacées et des Marattiacées. La radicelle s'édifie de la sorte près du sommet de la racine mère, dont elle rejette latéralement le prolongement. Les choses se répètent ainsi à chaque bifurcation, non seulement dans la racine mère, mais dans les radicelles successives.

L'origine des radicelles des *Selaginella* ressemble donc à celle des Filicinées et des Équisétinées en ce qu'elle est corticale. Elle en diffère par son extrême précocité, puisqu'elle remonte à une époque où l'écorce est encore indivise. Si l'on se souvient que dans les cas où l'écorce de la racine demeure indéfiniment indivise, par exemple chez les *Erica*, *Calluna*, *Epacris*, etc., ou encore dans les radicelles tuberculeuses avortées des *Podocarpus*, ses cellules prennent sur leurs faces latérales et transverses les plissements qui partout ailleurs

caractérisent l'endoderme, on se trouve porté à considérer dès cette époque l'écorce indivise comme l'endoderme actuel, et à dire que dans les *Selaginella*, comme dans toutes les autres Cryptogames vasculaires, les radicelles naissent dans une cellule endodermique.

On sait que les *Selaginella Martensii* et *Kraussiana* diffèrent des autres espèces du genre parce que leurs racines, et même, dans le *S. Martensii*, les branches de leurs premières bifurcations, manquent de coiffe, c'est-à-dire d'épiderme; ces plantes font ainsi, parmi les Cryptogames vasculaires, une exception semblable à celle que nous ont offerte les *Pontederia* et le *Pistia* chez les Monocotylédones. Les radicelles sans épiderme du *S. Martensii* naissent dans la racine mère et les unes dans les autres de la même manière que les radicelles des autres espèces, c'est-à-dire aux dépens du cloisonnement de la cellule corticale tout entière d'un jeune segment; la seule différence est qu'ici la cellule tétraédrique ne prend pas de cloison parallèle à sa face externe.

Plus tard, quand elles pénètrent dans le sol humide, cette racine et ces radicelles sans coiffe cessent de croître au sommet, s'y renflent et dans cette extrémité renflée produisent bientôt tout autour un certain nombre de radicelles ordinaires. Au point où va naître une de ces radicelles, le segment triangulaire a déjà dédoublé sa cellule corticale et même la cellule externe a déjà séparé l'exoderme et la seconde assise de l'écorce. C'est dans la cellule corticale interne encore simple, destinée à produire la zone corticale interne et l'endoderme définitif, dans ce qu'on peut appeler l'endoderme actuel, que la radicelle se forme. Cette cellule découpe d'abord en dedans trois segments basilaires; puis la cellule tétraédrique ainsi produite se cloisonne parallèlement à ses quatre faces, comme il a été dit. La radicelle ainsi formée est d'abord recouverte par les deux assises corticales externes, qui se dédoublent souvent de nouveau au-dessus d'elle. Elle digère les assises corticales comprises entre elle et l'exoderme; mais l'exoderme agrandit ses cellules et suit la croissance du

mamelon, qu'il enveloppe d'une sorte de poche. Plus tard, cette poche est percée au sommet et la radicelle apparaît au dehors. Sur tous les points essentiels, nos observations sont d'accord avec celles de M. Treub sur le *S. Martensii* (*loc. cit.*, p. 16, 1877).

En somme, la première génération des radicelles ordinaires de ces deux *Selaginella* ne diffère de celles des autres espèces que par une moindre précocité, d'où il résulte qu'elles naissent plus profondément dans l'écorce et qu'elles ont au-dessus d'elles une couche corticale à traverser pour paraître au dehors (1).

Comme celle des *Selaginella*, la racine des *Lycopodium* se ramifie en dichotomie, sans produire de radicelles ordinaires. Elle a pourtant au sommet une structure très différente. Bien que MM. Nägeli et Leitgeb y aient signalé et figuré une cellule terminale unique en forme de pyramide quadrangulaire (*loc. cit.*, p. 121, pl. XVII, fig. 12, 1868), il résulte des recherches de M. Strasburger (*Die Coniferen und die Gnetaceen*, Iena, 1872, p. 335, pl. XXV, fig. 32), confirmées par M. Bruchmann (*Ienaisehe Zeitschrift*, p. 522, 1874), que la racine de ces plantes a au sommet trois sortes d'initiales distinctes, pour le cylindre central, l'écorce et l'épiderme, c'est-à-dire qu'elle partage, sous ce rapport, la structure des Phanérogames. D'autre part, comme l'assise la plus interne de l'épiderme cloisonné tangentiellement y demeure adhérente à l'écorce et devient l'assise pilifère, c'est aux Dicotylédones et aux Gymnospermes que les *Lycopodium* se rattachent, non aux Monocotylédones; en un mot, ils sont climacorhizes, non liorhizes.

Malgré cette différence de structure de l'extrémité, la dichotomie résulte-t-elle, ici comme dans les *Selaginella*, de

(1) Pour MM. Nägeli et Leitgeb, les racines sans coiffe des *S. Kraussiana* et *S. Martensii* ne seraient pas des racines, mais des branches aphylles, qu'ils ont nommées *porte-racines* (Wurzelträger) (*loc. cit.*, p. 124). L'un de nous a combattu depuis longtemps cette manière de voir (*Mémoire sur la racine*, *loc. cit.*, p. 96, 1871). Elle a pourtant été adoptée plus tard par M. Treub (*Recherches sur les organes de végétation du* Selaginella Martensii, Leyde, 1877, p. 18).

la formation très précoce d'une radicelle au voisinage même du sommet? Ou bien faut-il, avec M. Strasburger et M. Bruchmann, y voir une véritable dichotomie? C'est ce qu'il ne nous a pas encore été possible de décider. Dans la première hypothèse, il faudrait admettre que la radicelle procède, non de l'assise corticale interne comme dans toutes les autres Cryptogames vasculaires étudiées jusqu'ici, même chez les *Selaginella*, c'est-à-dire de l'endoderme définitif ou actuel, mais de l'assise périphérique du cylindre central, c'est-à-dire du péricycle définitif ou actuel. C'est, en effet, le cylindre central qui prend ici l'initiative dans le phénomène. Les *Lycopodium* se rapprocheraient alors des Dicotylédones et des Gymnospermes, non seulement par la structure du sommet de leur racine, mais encore par le lieu de formation de leurs radicelles, l'extrême précocité de celles-ci étant mise à part. Nous aurons plus tard l'occasion de revenir sur ce point.

La racine des *Isoetes* se ramifie également en dichotomie. Contrairement à l'opinion de MM. Nägeli et Leitgeb (*loc. cit.*, p. 138, 1868), qui y admettaient une cellule terminale unique cunéiforme, M. Bruchmann (*loc. cit.*, p. 552) a montré que son extrémité s'accroît à l'aide de trois sortes d'initiales, pour le cylindre central, l'écorce et l'épiderme. Celui-ci se cloisonne tangentiellement pour former les assises de la coiffe, et son assise interne demeure en définitive adhérente à l'écorce en devenant l'assise pilifère. En un mot, les *Isoetes* ressemblent sous ce rapport, tout autant que les *Lycopodium*, aux Dicotylédones et aux Gymnospermes; ils sont aussi climacorhizes. Si la dichotomie résulte ici, comme chez les *Selaginella*, de la production d'une radicelle très précoce au voisinage du sommet, si elle n'est pas une dichotomie véritable, comme l'admet M. Bruchmann, il est certain que, comme dans les *Lycopodium*, la radicelle tire son origine du cylindre central, non de l'écorce.

Dans l'hypothèse d'une fausse dichotomie, les *Lycopodium* et les *Isoetes* produiraient donc leurs radicelles dans le péricycle et par là s'éloigneraient de toutes les autres Cryptogames

vasculaires pour se rapprocher des Phanérogames, comme elles en diffèrent pour ressembler aux Phanérogames par la structure du sommet de leur racine (1). Sous ce rapport, comme sous plusieurs autres, les Lycopodinées se montrent le trait d'union entre les Cryptogames vasculaires ordinaires et les Phanérogames.

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE DES CRYPTOGAMES VASCULAIRES ET COMPARAISON AVEC LES PHANÉROGAMES.

Laissons de côté les Lycopodinées, pour ne considérer que les Cryptogames vasculaires dont la racine, pourvue d'une seule initiale, produit des radicelles ordinaires, comparables à celles des Phanérogames.

Chez toutes ces plantes, l'assise à plissements de la racine se différencie de très bonne heure; néanmoins elle appartient à l'écorce et mérite le nom d'endoderme, tout aussi bien que chez les Phanérogames. En sorte que la limite du cylindre central et de l'écorce doit, chez toutes les plantes vasculaires, être tracée en dedans de l'assise plissée. Il faut remarquer seulement que, chez les *Equisetum*, l'endoderme subit un dédoublement ultérieur en dedans des plissements.

Partout la radicelle procède d'une cellule de l'endoderme et comme elle est ordinairement très précoce, cela explique la différenciation également très précoce de l'endoderme. Le péricycle sous-jacent forme seulement un pédicule plus ou

(1) Appelons *holacrorhizes* ou *monacrorhizes* toutes les plantes vasculaires où la racine croît au sommet par une initiale entière, c'est-à-dire unique, et *méracrorhizes* ou *triacrorhizes* toutes celles où la racine croît au sommet par une initiale subdivisée en trois, c'est-à-dire par trois initiales superposées. D'autre part, nommons *endodermorhizes* toutes les plantes vasculaires qui forment leurs radicelles dans l'endoderme de la racine mère, et *péricyclorhizes* toutes celles qui forment leurs radicelles dans le péricycle. Nous pourrons alors exprimer le résultat qui précède en disant que toutes les monacrorhizes, c'est-à-dire les Cryptogames vasculaires moins les *Lycopodium* et *Isoetes*, sont endodermorhizes, tandis que toutes les triacrorhizes, c'est-à-dire les Phanérogames plus les *Lycopodium* et *Isoetes*, sont péricyclorhizes.

moins long, par où s'opère l'insertion du système libéroligneux de la radicelle sur celui de la racine mère. L'endoderme de la radicelle n'ayant pas à traverser le péricycle pour se raccorder avec celui de la racine mère, il n'y a pas de cellules triplissées. Les *Equisetum* font exception sous ce rapport; la cellule rhizogène y étant intérieure à l'assise plissée, il y a formation de cellules triplissées.

Le mode de cloisonnement de la cellule mère est partout essentiellement le même. Elle sépare d'abord une épistèle et un cylindre central; puis un épiderme, une écorce et un nouveau cylindre central; puis un nouvel épiderme, une nouvelle écorce et un nouveau cylindre central, et ainsi de suite, les régions ainsi constituées n'ayant chacune qu'une croissance limitée, mais se superposant indéfiniment pour édifier la radicelle.

A mesure qu'il s'en forme ainsi de nouveaux au-dessous d'eux, les épidermes anciens tombent tout entiers dans la coiffe et c'est l'exoderme qui devient l'assise pilifère; en un mot, les Cryptogames vasculaires sont liorhizes, comme les Monocotylédones.

Quand la racine mère est binaire, la cellule mère, et par suite la radicelle, est située en face d'un faisceau ligneux; la règle isostique gouverne donc tous les cas. Ou bien si elle est située latéralement, la déviation existe tout aussi bien avec un nombre de faisceaux supérieur à deux qu'avec la structure binaire.

Quand la radicelle est binaire, les deux faisceaux ligneux y sont disposés transversalement par rapport au faisceau ligneux d'insertion.

Voilà les caractères constants.

Ce qui varie, c'est la forme de l'initiale commune, qui est le plus souvent terminée en pointe en dedans et ne prend que des cloisons obliques vers l'intérieur, mais qui est quelquefois tronquée en dedans et prend aussi des cloisons transverses parallèlement à cette face interne. C'est la date relative de la cloison séparatrice du cylindre central, qui est quelquefois la

première, le plus souvent la seconde, précédée alors par la cloison médio-corticale. C'est le mode de cloisonnement tangentiel de l'écorce qui prédomine le plus souvent dans la zone interne où il est tantôt centrifuge, tantôt centripète (à part l'endoderme), quelquefois au contraire, dans la zone externe où il est mixte. C'est la manière d'être de l'épiderme, tant au point de vue du cloisonnement tangentiel, qui peut y être nul, mais qui se produit d'ordinaire une, quelquefois deux, ou même un plus grand nombre de fois, qu'au point de vue de ses rapports avec l'écorce dont il se sépare d'habitude par glissement, mais où il demeure quelquefois fortement encastré. C'est la poche digestive, qui est quelquefois très fugace ou même nulle, ailleurs, au contraire, persistante, et alors tantôt simple, tantôt double, triple ou quadruple. C'est enfin le degré de développement du péricycle sous-jacent et la participation corrélative plus ou moins grande des cellules endodermiques voisines de la cellule rhizogène à la formation de la radicelle.

Si nous comparons maintenant les caractères constants de la production des radicelles chez les Cryptogames vasculaires aux caractères constants de ce phénomène chez les Phanérogames, nous constatons que les Cryptogames vasculaires diffèrent profondément des Phanérogames : par la différenciation très précoce de l'endoderme, qui est chez elles la première assise différenciée de l'écorce interne, tandis qu'elle en est la dernière chez les Phanérogames; par l'origine unicellulaire et endodermique de leurs radicelles; par le maintien indéfini de l'intégrité de la cellule mère, qui ne détache d'elle que des tronçons à croissance limitée; par la disposition des radicelles, régulièrement isostique dans tous les cas; enfin par l'orientation transverse de leurs faisceaux ligneux si la structure est binaire. De ces cinq caractères différentiels, le second, le troisième et le cinquième étaient déjà connus et reçoivent une confirmation nouvelle; le premier et le quatrième sont signalés ici pour la première fois.

Quant aux caractères variables, ils subissent chez les Cryp-

togames vasculaires des modifications sensiblement de même ordre que chez les Phanérogames. Pour n'en signaler qu'un, la poche digestive, par exemple, qui est ici d'origine sus-endodermique, présente chez les Cryptogames vasculaires la même diversité que chez les Dicotylédones et les Gymnospermes.

Les différences que présente le phénomène de production des radicelles dans les deux embranchements sont donc telles qu'il est difficile de formuler des conclusions tout à fait générales, c'est-à-dire applicables à toutes les plantes vasculaires. Tout ce qu'on peut dire à ce sujet, c'est que partout la radicelle prend naissance essentiellement dans une cellule située immédiatement contre la limite du cylindre central et de l'écorce.

Cette cellule mère est en dedans de la limite et se divise aussitôt intégralement en trois sortes d'initiales douées d'une croissance indéfinie, chez les Phanérogames. Elle est en dehors de la limite et ne se divise que partiellement en produisant des segments doués d'une capacité de croissance limitée, en demeurant entière et indéfiniment active entre ces segments, chez les Cryptogames vasculaires.

En un mot, si l'on met à part les Lycopodinées, les Phanérogames sont à la fois péricyclorhizes et triacrorhizes, tandis que les Cryptogames vasculaires sont à la fois endodermorhizes et monacrorhizes.

DEUXIÈME PARTIE

ORIGINE, CROISSANCE INTERNE ET SORTIE DES RACINES LATÉRALES

Notre intention, au début de ces recherches, était d'étudier seulement l'origine des racines latérales endogènes dans la tige, principalement chez les Monocotylédones, comme suite au beau mémoire que M. Lemaire venait de publier sur les Dicotylédones. Nous avions déjà consacré beaucoup de temps et de peine à ce travail, lorsque nous nous sommes convaincus que, pour se rendre maître de toutes les difficultés du sujet, il était nécessaire de reprendre les choses par la base, c'est-à-dire d'étudier d'abord plus complètement qu'on ne l'avait fait jusqu'alors l'origine des radicelles dans les racines latérales ou dans la racine terminale. C'est seulement après avoir aplani de ce côté, où le problème est plus simple, tous les obstacles, qu'on pouvait espérer réussir à lever aussi les difficultés plus grandes qui enveloppent la question de l'origine des racines latérales. Dès lors, c'est à cela qu'ont tendu tous nos efforts, et l'on a pu voir, par la première partie de ce Mémoire, qu'ils n'ont pas été tout à fait inutiles. Cette première tâche remplie, nous avons repris, avec plus d'expérience et de sûreté, l'étude de l'origine des racines latérales endogènes, dont nous allons maintenant exposer les résultats.

Comme pour les radicelles, nous nous bornerons essentiellement aux racines latérales endogènes précoces, c'est-à-dire à celles qui procèdent des flancs de la tige avant l'apparition des tissus secondaires, ou du moins sans rapport direct avec eux. Comme pour les radicelles aussi, nous considérerons successivement, dans autant de chapitres distincts, les Dicotylédones, les Monocotylédones, les Gymnospermes, les Cryptogames vasculaires, et nous terminerons par un résumé où

les résultats généraux acquis pour les racines latérales seront comparés à ceux obtenus pour les radicelles dans la première Partie.

CHAPITRE PREMIER

RACINES LATÉRALES DES DICOTYLÉDONES

La tige des Dicotylédones produit des racines latérales de quatre sortes, suivant l'âge où elles y apparaissent. Les unes se forment de très bonne heure, sur les bourgeons axillaires, dont elles sont presque contemporaines; sans doute à cause de cette extrême précocité, elles sont exogènes. Il s'en fait tantôt une seule sur chaque bourgeon, comme dans le *Ficaria ranunculoides*, où cette racine se renfle en tubercule, tantôt un certain nombre, disposées en arc sur la face supérieure du bourgeon, comme chez diverses Crucifères (*Nasturtium*, *Cardamine*, *Armoracia*, etc.). Ces racines de bourgeons, ou racines *gemmaires*, forment une catégorie à part; leur exogénéité les exclut de ce travail, où nous ne ferons que les signaler en passant. D'autres naissent de bonne heure aussi, mais plus tard que les précédentes, sur la tige elle-même, notamment aux nœuds; elles sont endogènes et se forment dans le péricycle. Ces racines de précocité moyenne sont de beaucoup les plus répandues; elles correspondent aux radicelles précoces étudiées dans la première partie de ce travail, et ce sont aussi les seules qui puissent leur être comparées. D'autres se forment plus tard, à un âge où le péricycle a perdu sa faculté rhizogène; elles sont produites par le parenchyme libérien sous-jacent : ce sont déjà des racines tardives. Enfin d'autres naissent plus tard encore, et se forment en dedans du liber primaire, dans le parenchyme libérien secondaire, issu de l'assise génératrice du liber et du bois secondaires : ce sont des racines tout à fait tardives.

C'est aux racines endogènes précoces, seules comparables entre elles et aux radicelles, que nous bornerons essentiellement notre étude. Pourtant nous aurons aussi à considérer

çà et là des racines tardives et même des racines extra-tardives, pour montrer les différences qu'elles présentent par rapport aux premières.

La formation des racines latérales endogènes des Dicotylédones a été étudiée, d'abord brièvement en 1871, par M. Reinke, dans l'*Impatiens parviflora*, le *Veronica Beccabunga*, l'*Hedera Helix* et le *Dischidia bengalensis* (1), puis, tout récemment, en 1886, par M. Lemaire, dont les recherches se sont étendues à une trentaine d'espèces représentant environ vingt familles, choisies moitié parmi les Gamopétales, moitié parmi les Dialypétales (2). Ce grand travail a conduit M. Lemaire, non seulement à rectifier plusieurs des assertions de M. Reinke, mais encore à distinguer, chez les Dicotylédones, quatre types de formation des racines latérales. Dans le premier, la racine naît tout entière du péricycle de la tige; l'endoderme de la tige, ou ne prend aucune part au phénomène, ou produit seulement autour de la racine une couche particulière de tissu, que l'auteur en a nettement distinguée, et à laquelle il a donné le nom impropre de *calotte*. A ce type se rattache la grande majorité des plantes étudiées, vingt-cinq sur trente, représentant seize familles sur vingt. Dans le second type, le cylindre central de la racine tire seul son origine du péricycle de la tige, son écorce et son épiderme dérivent ensemble de l'endoderme et des assises corticales internes de la tige; il en est ainsi dans les Légumineuses (*Lotus*, *Trifolium*). Dans le troisième, comprenant les *Viola* et *Vinca*, la racine se forme tout entière dans l'assise génératrice située en dedans du liber. Dans le quatrième, enfin, représenté par les *Asperula*, le cylindre central de la racine procède encore de l'assise génératrice, mais son écorce et son épiderme sont formés par le péricycle.

En reprenant l'étude des plantes rattachées par M. Lemaire

(1) Reinke, *Untersuchungen über Wachsthumsgeschichte der Phanerogamen-wurzel* (*Botanische Abhandlungen*, I, p. 41, 1871).

(2) Lemaire, *Recherches sur l'origine et le développement des racines latérales chez les Dicotylédones* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, III, p. 163, 1886).

à ces quatre types, et surtout en étendant nos recherches à un grand nombre d'autres genres pris dans les familles les plus différentes de la classe, nous sommes arrivés à nous convaincre qu'il n'y a, en réalité, chez les Dicotylédones, qu'un seul type de formation pour les racines latérales précoces, mais que ce type subit, suivant les plantes, diverses modifications secondaires.

La racine procède, en effet, toujours tout entière, du péricycle de la tige (1). Si le péricycle est simple, ce qui est le cas le plus fréquent, plusieurs de ses cellules, formant un arc sur la section transversale, s'allongent radialement et se dédoublent par une cloison tangentielle. L'assise interne constitue le cylindre central, et sa cellule médiane ou ses deux cellules médianes en fournissent l'initiale ou les deux initiales. L'assise externe se divise à son tour, à l'exception de ses cellules extrêmes, par une cloison tangentielle, qui sépare l'écorce en dedans, l'épiderme en dehors; la cellule médiane ou les deux cellules médianes produisent l'initiale ou les deux initiales de chacune de ces régions. Les cellules latérales, demeurées indivises, constituent l'épistèle. Les trois initiales ou paires d'initiales superposées, qui édifient toute la racine, procèdent donc toutes, en définitive, de la cellule médiane ou des deux cellules médianes de l'arc péricyclique rhizogène. Une fois autonomisées, les trois régions de la racine s'accroissent ensuite et se cloisonnent, comme on l'a vu pour les radicelles (p. 16 et suiv.).

(1) Dans la tige, le péricycle n'est bien défini qu'en dehors des faisceaux libéroligneux : c'est tout ce qui est compris entre l'endoderme et les tubes criblés les plus externes. Entre les faisceaux, il n'est délimité ordinairement que du côté externe; vers l'intérieur, il se continue dans le rayon. Là, péricycle, rayon et moelle forment ensemble le conjonctif du cylindre central. Pourtant, on peut convenir d'appeler péricycle le prolongement à travers le rayon de l'assise ou des assises qui constituent le péricycle en dehors du liber. Quand donc nous dirons que le péricycle est simple, double, triple, etc., en face d'un rayon, c'est qu'en réalité il est tel en dehors du liber, ou du moins que son épaisseur en dehors du liber correspond à une, deux, trois, etc. assises du rayon.

Si le péricycle est composé de plusieurs assises, l'arc rhizogène les accroît toutes radialement; mais ordinairement le rang externe seul produit la racine en s'accroissant et se cloisonnant comme il vient d'être dit. En d'autres termes, la cellule médiane ou les deux médianes de ce rang fournissent au membre ses trois initiales ou paires d'initiales. Les autres rangs ne produisent que la base du cylindre central. Quelquefois pourtant la seconde assise prend part à l'édification de la racine.

Ainsi constituée, la racine proémine de plus en plus à la surface du cylindre central de la tige, dans l'écorce de laquelle elle s'enfonce progressivement. Alors de deux choses l'une. Tantôt l'endoderme est tout d'abord ou du moins de très bonne heure attaqué et entièrement dissous sur tout le parcours de la racine; chacune des assises corticales subit ensuite le même sort dès que le jeune organe en croissant vient à la toucher. A un moment quelconque de son trajet dans l'écorce de la tige, la racine a donc son épiderme directement en contact avec les cellules corticales; c'est cet épiderme qui d'abord sécrète le suc diastasique nécessaire à la digestion de ces cellules, et ensuite absorbe les produits solubles de cette digestion. En un mot, il n'y a pas de poche digestive; la digestion opérée par la racine est directe et porte sur toute l'épaisseur de l'écorce de la tige.

Tantôt et bien plus souvent, l'endoderme de la tige demeure vivant et suit, en agrandissant et cloisonnant ses cellules, la croissance de la racine, à la surface de laquelle il est et demeure intimement uni. C'est alors lui qui, d'abord, sécrète le liquide diastasique et digère de proche en proche les assises corticales, puis en absorbe la substance ainsi liquéfiée, pour la transmettre à la racine, ne gardant pour lui-même que ce qui est nécessaire à sa propre croissance. En un mot, la racine est enveloppée jusqu'à sa sortie par une poche digestive endodermique; la digestion opérée par elle est alors indirecte et ne porte que sur une partie de l'épaisseur de l'écorce de la tige.

Une poche digestive ou pas de poche digestive, voilà donc deux manières d'être distinctes, dérivant, non pas du mode d'origine et de construction de la racine, mais seulement de son mode d'action sur l'écorce de la tige.

Nous sommes ainsi conduits à grouper les faits dans le détail desquels nous allons entrer maintenant d'après les deux modifications que nous venons de distinguer et de définir, suivant en cela, pour les racines latérales, la marche que nous avons adoptée pour les radicelles.

1. Racines latérales sans poche, digérant directement et totalement l'écorce de la tige.

Ce mode de formation nous est offert par les mêmes familles qui nous l'ont présenté dans leurs radicelles, familles que nous allons étudier aussi dans le même ordre.

Crucifères (pl. XXVIII, fig. 419). — Les Crucifères produisent de bonne heure, sur leur tige hypocotylée, et progressivement de bas en haut à partir du collet, un certain nombre de racines latérales endogènes. La structure de la tige, dans cette région inférieure, est semblable à celle de la racine terminale; les racines latérales s'y forment aussi et s'y disposent comme les radicelles primaires sur le pivot.

La tige hypocotylée de l'*Hesperis matronalis*, par exemple, considérée dans sa région inférieure, a, sous l'épiderme stomatifère, sept assises corticales dont la dernière est un endoderme amylifère à plissements bien marqués. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux unisériés confluents et deux faisceaux libériens alternes. L'arc rhizogène, latéralement situé par rapport à un faisceau ligneux, mais chevauchant sur lui, se comporte comme il a été dit page 28, figures 9, 10 et 11, et constitue une racine qui se dirige dans l'écorce avec une déviation assez faible. Toutes les racines ainsi formées se superposent donc de bas en haut en quatre séries, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux, c'est-

à-dire du côté de la ligne médiane des cotylédons, séries qui continuent celles des radicelles primaires sur le pivot. Mais en outre il se fait assez fréquemment des racines doubles, plus grosses que les autres, ayant trois ou quatre faisceaux ligneux et libériens, quand les autres n'en ont que deux, et insérées exactement en face des faisceaux ligneux, correspondant par conséquent à la ligne médiane des cotylédons.

Le mamelon radical dilate d'abord les cellules endodermiques superposées, qui forment un instant une poche autour de lui ; mais bientôt il les digère, attaque ensuite une à une toutes les assises corticales, dissout enfin l'épiderme et paraît au dehors. Les racines latérales sont donc dépourvues de poche digestive, comme les radicelles.

Les racines se forment et se disposent de même dans les *Enarthrocarpus pterocarpus*, *Brassica carinata*, *Heliophila amplexicaulis*, *Crambe hispanica*, *Rapistrum rugosum*, *Nasturtium officinale*, etc. Quand la racine terminale est pourvue d'un réseau sus-endodermique, ce réseau s'arrête, comme on sait, au collet ; la tige hypocotylée en est donc dépourvue. Néanmoins, les racines latérales qu'elle produit prennent ce réseau dès leur insertion même et le possèdent bien développé dans leur trajet à travers l'écorce de la tige (*Brassica*, *Crambe*, *Rapistrum*, *Heliophila*, etc.)

La région supérieure de la tige hypocotylée, au-dessus du niveau où s'est opéré le dédoublement des faisceaux ligneux et libériens, suivi de la jonction de leurs moitiés en quatre faisceaux libéroligneux, peut aussi produire des racines latérales. Ces racines y naissent dans les mêmes rangées que celles d'en bas ; elles correspondent par conséquent au dos des quatre faisceaux libéroligneux (*Rapistrum rugosum*, etc.). On voit donc que la position des arcs rhizogènes demeure la même dans le péricycle, malgré les déplacements qui s'opèrent au-dessous de lui dans les faisceaux ligneux et libériens.

Les racines latérales hypocotylées se succèdent de bas en haut à d'assez longs intervalles de temps ; aussi lorsque les plus hautes et les plus jeunes font leur apparition, la tige est-

elle souvent assez âgée pour avoir déjà notablement épaissi son cylindre central. Il s'y est fait un périderme plus ou moins épais aux dépens du péricycle et une plus ou moins grande quantité de liber et de bois secondaires en dedans des faisceaux libériens primaires. L'écorce et l'endoderme ont suivi l'extension du cylindre central en dilatant leurs cellules et en les divisant çà et là par une cloison radiale. Ces racines tardives naissent aux dépens de l'assise péridermique externe provenant du cloisonnement tangentiel du péricycle primitif, de la même manière et aux mêmes places que les racines précoces dont il a été question jusqu'ici, c'est-à-dire les unes simples, de chaque côté des faisceaux ligneux primaires, en quatre séries (fig. 419), les autres doubles, plus grosses, exactement en face des faisceaux ligneux primaires, en deux séries. Les premières insèrent leurs vaisseaux sur les vaisseaux secondaires qui les séparent de la bande diamétrale primaire ; les secondes les attachent d'abord sur le faisceau primaire, au fond du rayon péridermique superposé, plus tard aussi de chaque côté sur le bois secondaire. Ici encore, on voit que l'origine et la disposition des racines ne sont pas influencées par les changements de structure opérés dans le cylindre central.

Le plus souvent ces racines tardives digèrent aussi d'abord l'endoderme, puis les autres assises corticales (*Brassica carinata*, etc.). Pourtant il nous est arrivé, notamment dans l'*Heliophila amplexicaulis*, de voir l'arc d'endoderme superposé dilater ses cellules autour du mamelon, les diviser par des cloisons radiales non plissées et former autour de la racine une poche digestive simple, qui persiste jusqu'après la sortie (fig. 419). C'est seulement dans de pareilles racines tardives que nous avons observé chez les Crucifères une poche digestive permanente.

Se fait-il aussi plus tard, chez celles de ces plantes qui sont vivaces, des racines latérales endogènes sur la région épicotylée de la tige, notamment aux nœuds de la tige adulte? C'est ce qu'on ignore jusqu'à présent. On a bien observé chez quelques Crucifères une production abondante de racines laté-

rales au voisinage des nœuds (*Nasturtium officinale, N. sylvestre, Cardamine pratensis, Armoracia rusticana*, etc.). Mais ce qu'on n'a pas remarqué, c'est que ces racines ne naissent pas de la tige mère, c'est qu'elles procèdent directement du bourgeon axillaire à sa base. Aussi, leurs faisceaux libériens et ligneux s'insèrent-ils non sur le système libéroligneux de la tige, mais directement sur le système libéroligneux du bourgeon. Elles ne sont donc nullement comparables aux racines latérales ordinaires. Elles appartiennent à une catégorie spéciale, celle des racines latérales de bourgeon, ou *gemmaires*. Leur origine est aussi très différente de celle des racines latérales ordinaires. En effet, sans doute à cause de leur extrême précocité, elles sont exogènes, comme l'a démontré d'abord M. Hansen (1) et comme l'a vérifié plus tard M. Lemaire (2). L'arc rhizogène s'y établit à la périphérie du bourgeon et comprend trois assises d'épaisseur, savoir: l'épiderme et les deux assises corticales sous-jacentes. L'épiderme donne directement naissance à l'épiderme de la racine; la première assise corticale produit l'écorce avec deux initiales; la seconde engendre le cylindre central. Les initiales des trois régions de la racine sont donc déjà distinctes dans le bourgeon et par conséquent il n'y a pas d'épistèle. On a vu qu'il en est de même quelquefois pour les radicelles qui naissent dans le péricycle composé d'une racine mère, par exemple chez les Cannabinées.

Il n'est donc pas exact de dire que les racines latérales des Crucifères sont exogènes et que les plantes de cette famille font sous ce rapport une exception à la règle générale. Pour autant qu'on les connaît, notamment sur la tige hypocotylée, les véritables racines latérales des Crucifères sont endogènes et d'origine péricyclique, comme partout ailleurs. Ce qui est vrai, c'est que ces plantes produisent en outre des racines d'une catégorie

(1) Ch. Hansen, *Vergleichende Untersuchungen über Adventivbildungen bei den Pflanzen* (*Abhandl. der. Senk. Gesellsch.* Francfort, XII, p. 147, 1880).

(2) Lemaire, *loc. cit.*, p. 75, 1886.

spéciale, des racines gemmaires, lesquelles sont exogènes ici, comme dans les autres plantes qui jouissent de la même propriété. La différence d'origine résulte de la différence de nature des racines considérées, non de la différence des plantes qui les produisent.

Capparidées. — Le *Polanisia graveolens* produit des racines sur sa tige hypocotylée, qui conserve dans sa région inférieure la structure binaire de la racine terminale. Les racines s'y produisent dans le péricycle simple, comme il a été dit pour les radicelles à la page 16, figure 21, et aux mêmes places, c'est-à-dire à droite et à gauche des faisceaux ligneux, de manière à se trouver toutes ensemble disposées en quatre rangées longitudinales, qui continuent les quatre séries de radicelles du pivot. L'endoderme superposé dilate ses cellules, mais sans les cloisonner, et ne forme autour de la racine qu'une poche lâche, non adhérente, digérée au sommet avant la sortie.

Il en est de même dans le *Cleome triphylla*, avec cette différence qu'ici la poche endodermique persiste davantage et se retrouve encore au moment de la sortie.

Fumariacées. — Les Fumariacées produisent, comme les Crucifères, des racines latérales sur la région inférieure hypocotylée de leur tige, où le cylindre central conserve la structure binaire de la racine terminale. Ces racines y naissent dans le péricycle simple comme les radicelles primaires dans la racine terminale (voy. p. 51, fig. 32 et 33). Elles sont aussi, comme ces radicelles, disposées en quatre séries plus ou moins rapprochées deux par deux du côté de la ligne médiane des cotylédons. Comme ces radicelles enfin, elle se montrent, suivant les genres, tantôt nues, parce que l'endoderme est digéré tout d'abord (*Corydallis rosea*, etc.), tantôt enveloppées d'une poche digestive simple sur les flancs, double à l'extrémité, parce que l'endoderme suit la croissance de la radicelle en divisant ses cellules d'abord par des cloisons

radiales, plus tard par une ou deux cloisons tangentielles autour du sommet (*Fumaria capreolata*, etc.). Dans ce dernier cas, l'action érosive exercée par la poche sur l'écorce de la tige se propage jusqu'à une certaine distance de la racine, qui est entourée d'un espace vide. A la sortie, la racine a la même structure que la radicelle primaire.

Papavéracées. — Dans la tige hypocotylée des Papavéracées (*Papaver*, *Glaucium*, *Chelidonium*), les racines latérales se forment également aux dépens du péricycle, de la même manière et aux mêmes places que les radicelles primaires dans la racine terminale (voy. p. 56, fig. 34).

Résédacées. — Les Résédacées produisent des racines sur la région inférieure de leur tige hypocotylée, région dont le cylindre central conserve la structure binaire de la racine terminale. Ces racines y naissent dans le péricycle simple comme les radicelles primaires dans le pivot (p. 57, fig. 35-40) et s'y disposent aussi en quatre séries, plus ou moins rapprochées deux par deux du côté de la ligne médiane des cotylédons, avec formation assez fréquente de racines doubles. Comme les radicelles, elles sont aussi tantôt nues (*Reseda mediterranea*, etc.), tantôt enveloppées d'une poche endodermique simple (*Reseda odorata*, etc.). A la sortie, elles ont enfin la même structure que les radicelles primaires.

Caryophyllées. — Les Caryophyllées produisent de bas en haut des racines sur leur tige hypocotylée, dont la région inférieure a dans son cylindre central la même structure binaire que le pivot. Ces racines s'y forment dans le péricycle simple, comme il a été expliqué (p. 59, fig. 41-45) pour les radicelles primaires et s'y disposent aussi dans les mêmes rangées, les unes simples en quatre séries rapprochées deux par deux du côté de la ligne médiane des cotylédons, les autres doubles en deux séries sur cette ligne médiane. Tantôt elles digèrent de suite l'endoderme et sont nues (*Lychnis inclusa*, *Melandrium undulatum*, *Cerastium chloræfolium*,

Tunica velutina, etc.). Tantôt elles dilatent les grandes cellules endodermiques, qui ne prennent que quelques cloisons radiales ou ne se divisent pas du tout ; elles s'enveloppent ainsi d'une poche digestive, poche qui est le plus souvent flasque et comme rudimentaire (*Spergula arvensis*, *Vaccaria oxyodonta*, *Polycarpæa Teneriffæ*, etc.). On constate donc ici la même différence que pour les radicelles.

La poche digestive conserve le même caractère de flaccidité sur les racines hypocotylées tardives, qui naissent quand le cylindre central s'est épaissi en formant un périderme dans le péricycle, ainsi que du bois et du liber secondaires en dedans du liber primaire, et qui procèdent de l'assise péridermique externe, aux mêmes places et de la même manière que les racines précoces procèdent du péricycle (*Spergula arvensis*, etc.).

Outre ces racines hypocotylées, la tige de diverses Caryophyllées produit plus tard aux nœuds d'autres racines latérales.

Dans le *Saponaria officinalis*, par exemple, il se fait au-dessus du nœud, à droite et à gauche de chaque bourgeon axillaire et au-dessus de lui, une racine latérale. A ce niveau, la tige a, sous l'épiderme, huit à dix assises corticales dont la plus interne est un endoderme à plissements peu marqués. Le cylindre central a un péricycle épais, composé d'environ huit assises de cellules à parois minces, un peu plus petites que celles de l'écorce ; les faisceaux libéroligneux, dépourvus de fibres, sont de très bonne heure fusionnés en anneau autour d'une large moelle par l'assise génératrice du liber et du bois secondaires. Plus tard, l'assise péricyclique externe produit un périderme qui exfolie l'écorce. C'est aussi cette assise externe qui donne naissance à la racine.

A cet effet, elle accroît radialement un certain nombre de ses cellules formant l'arc rhizogène. Ces cellules prennent d'abord une première cloison tangentielle, qui sépare en dedans le cylindre central, puis une seconde cloison tangentielle dans le rang externe, qui sépare l'écorce et l'épiderme. Le

mamelon ainsi constitué refoule d'abord un peu l'endoderme, puis l'attaque et le digère, après quoi il résorbe une à une toutes les assises corticales et enfin l'épiderme, pour paraître au dehors; il n'y a pas de poche digestive. A la sortie, l'épiderme de la racine a découpé environ huit calottes formant une épaisse calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales aplaties, ne s'est divisée que deux fois vers la base autour du cylindre central épais.

Il en est de même dans le *Stellaria holostea*, l'*Alsine media*, etc.

M. Lemaire, sans décrire la formation des racines latérales chez les Caryophyllées, fait remarquer cependant que, dans le *Stellaria nemorum*, l'endoderme ne contribue pas à la constitution de la racine (*loc. cit.*, p. 58).

Portulacées (pl. XXVIII, fig. 420-422). — Les Portulacées produisent des racines latérales sur la région inférieure de leur tige hypocotylée. Cette région possède la même structure binaire que le pivot; les racines s'y forment aussi, comme les radicelles primaires, dans le péricycle simple et s'y disposent de même en quatre rangées (p. 62, fig. 46-50). L'endoderme dilate ordinairement (*Portulaca oleracea*, etc.) ses grandes cellules plissées autour du mamelon, qu'il enveloppe d'abord d'une poche lâche, plus tard résorbée au sommet. A la sortie, la racine a la même structure que la radicelle primaire.

La formation des racines latérales aux nœuds de la tige adulte a été indiquée très sommairement par M. Lemaire dans le *Montia rivularis* (*loc. cit.*, p. 53). Nous l'avons étudiée dans le *M. fontana* et le *M. arvensis*.

Au nœud, la tige de ces plantes a, sous l'épiderme stomatifère, huit assises corticales à cellules arrondies, laissant entre elles de petits méats, dont la dernière est un endoderme à courts plissements situés près de la face interne. Le cylindre central, de forme elliptique, a un péricycle simple et quatre faisceaux libéroligneux en croix, deux plus étroits aux extrémités du grand axe de l'ellipse pour les deux feuilles du

nœud, deux plus larges alternes avec les feuilles aux extrémités du petit axe, se touchant au centre par les pointes de leurs bois ou n'y laissant entre elles qu'une ou deux assises de cellules médullaires. C'est à droite et à gauche des faisceaux foliaires, vis-à-vis des rayons qui les séparent des larges faisceaux alternes, que naissent les racines, au nombre de quatre à chaque nœud. Toutes ensemble elles sont donc disposées sur la tige en quatre rangées, alternes avec les quatre séries de feuilles.

L'arc rhizogène comprend quatre à six cellules péricycliques. Ces cellules s'agrandissent latéralement et radialement; puis elles se divisent, d'abord toutes par une cloison tangentielle qui sépare en dedans le cylindre central, ensuite les médianes seulement par une seconde cloison tangentielle extérieure à la première qui sépare l'écorce de l'épiderme; de chaque côté, la cellule marginale de l'arc reste en dehors de cette seconde division et constitue l'épistèle, ici peu développée (fig. 420). Les cellules du second rang conjonctif, c'est-à-dire les cellules du rayon médullaire situées au-dessous de l'arc péricyclique rhizogène, et même celles du troisième rang, s'accroissent aussi en se cloisonnant; mais elles ne forment que la base du cylindre central, par où se fera plus tard l'insertion de ses faisceaux libériens et ligneux sur les deux faisceaux libéroligneux voisins.

Dès que l'arc rhizogène a pris ses deux cloisons tangentielles et avant que l'ébauche de la racine n'ait encore fait la moindre saillie à la surface du cylindre central, l'arc d'endoderme superposé, qui s'est d'abord dédoublé, subit une altération marquée dans ses quatre ou cinq cellules, qui se ramollissent, dissolvent d'abord leurs cloisons radiales, puis disparaissent entièrement (fig. 421). La seconde assise corticale se comporte de même; puis, lorsque la jeune racine a fait saillie de manière à remplir le vide ainsi formé, elle attaque et digère successivement toutes les autres assises corticales (fig. 422), perfore l'épiderme, et paraît au dehors.

A ce moment, l'épiderme de la racine, séparé très près de

la base et formé de cellules allongées radialement, a pris trois cloisons tangentielles et est quadruple au sommet; la première cloison part du tiers environ à partir de la base, de sorte que l'épiderme a une dizaine de cellules indivises. Son écorce, terminée par deux initiales accompagnées souvent de chaque côté par un segment entier, ne s'est divisée que deux fois sur les flancs; à la base, son endoderme se raccorde avec celui de la tige, à travers la courte épistèle, par l'intermédiaire des cellules triplissées. Son cylindre central se termine par une initiale.

En étudiant le *Montia rivularis*, M. Lemaire a bien vu que pendant la formation de la racine « l'endoderme de la tige demeure inactif » (*loc. cit.*, p. 53).

Illécébrées. — Les Illécébrées forment des racines latérales dans la région inférieure de leur tige hypocotylée, laquelle conserve la structure binaire du pivot. Ces racines y naissent dans le péricycle simple et s'y disposent en quatre rangées, comme les radicelles primaires (p. 65, fig. 51). L'endoderme est digéré tout de suite ou forme, en dilatant ses grandes cellules sans les cloisonner, une poche flasque non adhérente à la racine, qui persiste quelquefois jusqu'au moment de la sortie (*Scleranthus laricifolius*, *spergulæfolius*, etc.). Cette poche est plus consistante et dure aussi plus longtemps autour des racines tardives, qui naissent dans l'assise externe du périderme, après un notable épaississement du cylindre central.

Crassulacées. — Les racines qui naissent dans la tige hypocotylée binaire des Crassulacées s'y forment dans le péricycle sans poche digestive, et s'y disposent comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 66, fig. 52).

La tige adulte de ces plantes produit aussi des racines, qui naissent par quatre au-dessus de chaque nœud, une de chaque côté des deux bourgeons axillaires opposés. Dans le *Sedum Sieboldtii*, par exemple, l'écorce de la tige est terminée par un

endoderme à plissements localisés près de la face interne. Le cylindre central a un péricycle simple et quatre faisceaux libéroligneux en croix, deux foliaires plus étroits et deux plus larges alternes avec les feuilles. Au nœud, après le départ des faisceaux foliaires et de chaque côté, un arc péricyclique se cloisonne comme il a été dit plus haut pour le *Montia*. L'arc d'endoderme superposé se résorbe et le mamelon digère ensuite toutes les assises corticales pour s'échapper; en un mot, il n'y a pas de poche digestive. A la sortie, l'épiderme de la racine, formé de grandes cellules, n'a pris qu'une seule cloison tangentielle au sommet; son écorce, terminée par une initiale, ne s'est divisée que deux ou trois fois à la base; son cylindre central a aussi une initiale au sommet.

Beaucoup de racines filiformes ainsi produites se détachent plus tard au ras de la tige; sur le tronçon basilaire inclus dans l'écorce, se développe alors, latéralement et du côté externe, une radicelle dépourvue de poche digestive comme les radicelles de la racine terminale. Après avoir percé l'écorce du tronçon, cette radicelle rencontre l'écorce de la tige, subérifiée tout autour. Arrêtée par cet obstacle, elle cesse ordinairement de croître et ne paraît pas au dehors; mais elle produit sur la face externe une radicelle de second ordre, également dépourvue de poche, qui, après avoir percé son écorce, trouvant le chemin libre entre le tronçon de la racine latérale et l'écorce subérifiée de la tige, s'allonge et paraît au dehors. En ces points, on observe donc du même coup trois générations de membres endogènes, issues l'une de l'autre.

Aizoacées. — Les *Mesembrianthemum* produisent sur leur tige hypocotylée binaire des racines, qui s'y forment dans le péricycle simple sans poche digestive et s'y disposent en quatre rangées comme il a été expliqué (p. 68, fig. 53) pour les radicelles primaires sur la racine terminale.

Les racines hypocotylées du *Tetragonia echinata* se forment et se disposent de la même manière, mais elles sont enveloppées d'une poche endodermique simple qui les accompagne

jusqu'à la sortie. On retrouve donc entre les racines hypocotylées des *Mesembrianthemum* et des *Tetragonia* la différence signalée plus haut (p. 68) entre les radicelles primaires de ces deux genres.

Amarantacées (pl. XXVIII, fig. 423). — Les Amarantacées ont une tige hypocotylée binaire, produisant dans sa région inférieure des racines latérales qui y naissent dans le péricycle simple et s'y disposent en quatre rangées comme les radicelles primaires sur la racine terminale (p. 69, fig. 54-55). L'endoderme, ou bien est complètement digéré, ou bien ne forme, en dilatant passivement ses cellules sans les diviser, qu'un sac lâche, souvent résorbé avant la sortie (*Amarantus paniculatus*, *A. speciosus*, *Achyranthes argentea*, *Euxolus deflexus*, *Gomphrena globosa*, etc.). Plus haut, au-dessus du niveau où se fait la constitution des faisceaux libéroligneux, c'est encore aux mêmes places que les racines naissent dans le péricycle, mais elles sont diversement situées par rapport à ces faisceaux libéroligneux. Tantôt les faisceaux libériens demeurent indivis et il ne se fait que deux faisceaux libéroligneux; c'est alors sur les deux flancs de ces faisceaux que s'insèrent les racines (*Amarantus*, *Scleropus*, etc.). Tantôt chaque faisceau libérien se divise en deux, les deux moitiés sont séparées par un large rayon de parenchyme conjonctif et il se fait quatre faisceaux libéroligneux; c'est alors au dos de ces faisceaux que s'insèrent les racines; elles débordent soit du côté des faisceaux ligneux primaires, soit du côté du milieu des faisceaux libériens primaires, et c'est tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, que se constituent les racines doubles; toutes ensemble les racines sont disposées en ce cas sur huit rangs (*Achyranthes*, etc.). Ici encore, la position des racines demeure la même, malgré les changements de structure de la tige.

Plus tard, lorsque le péricycle a formé un périderme et dans ce périderme deux faisceaux libéroligneux vis-à-vis des faisceaux ligneux primaires, ou de la place qu'ils occupaient, suivant la hauteur où l'on opère, c'est aux dépens de l'assise

péridermique externe, qui se continue en dehors des faisceaux libéroligneux secondaires, et encore aux mêmes places que précédemment, que les racines se constituent. S'il n'y a que deux faisceaux libéroligneux primaires, comme dans les *Amarantus*, *Scleropus*, etc., ces racines tardives naissent en face des intervalles des quatre faisceaux et, suivant la grandeur de la déviation, elles s'attachent ici sur le flanc d'un faisceau libéroligneux primaire, là sur le flanc d'un faisceau libéroligneux secondaire. S'il y a quatre faisceaux libéroligneux primaires (*Achyranthes*, etc.) et par conséquent six faisceaux en tout, elles s'attachent comme précédemment au dos des faisceaux primaires, mais celles d'entre elles qui sont doubles, à déviation nulle, s'attachent au dos des faisceaux secondaires. Autour de ces racines tardives, l'endoderme se dilate, cloisonne radialement ses cellules, et forme une poche digestive plus adhérente et plus persistante que celle qui enveloppe dans la même plante les racines précoces (*Scleropus*, etc.) (fig. 423).

Chénopodiacées. — La tige hypocotylée des Chénopodiacées est aussi binaire dans sa région inférieure et y produit des racines en quatre rangées dans le péricycle simple. Ces racines se forment comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 70, fig. 56-58) et, comme elles, sont tantôt entièrement nues (*Chenopodium*, etc.), tantôt enveloppées d'une poche endodermique simple plus ou moins persistante (*Atriplex*, etc.). Sous tous les rapports, les choses se passent dans cette famille comme dans celle des Amarantacées.

Basellées. — La tige hypocotylée du *Basella rubra* produit dans sa région inférieure des racines qui s'y forment aux dépens du péricycle simple, vis-à-vis des rayons qui séparent les quatre faisceaux libéroligneux, comme il a été expliqué (p. 72, fig. 59-60) pour les radicelles primaires de la racine terminale. L'arc d'endoderme superposé dilate d'abord ses grandes cellules, mais sans les diviser par des cloisons radiales,

et forme une poche flasque et lâche, qui est digérée au sommet avant la sortie de la racine.

Cactées. — La tige hypocotylée de l'*Opuntia flavicans* produit des racines dans sa région inférieure. Ces racines naissent ordinairement assez tard, quand l'écorce a déjà formé un périderme dans son assise externe, quand le cylindre central a pris du liber et du bois secondaires en dedans de ses quatre faisceaux libériens et formé en dehors de ses quatre faisceaux ligneux de larges rayons secondaires, constitués dans leur partie interne par des cellules annelées ou spiralées pareilles à celles qu'on trouve éparses dans la petite moelle (1). Elles apparaissent en face de ces rayons secondaires et prennent origine dans leur assise externe, laquelle provient du cloisonnement du péricycle. Elles s'y forment comme les radicelles primaires dans la racine terminale, digèrent comme celles-ci l'endoderme avant les autres assises corticales, et possèdent la même structure au moment de la sortie (p. 74, fig. 61).

Bégoniées. — La tige hypocotylée binaire des *Begonia* (*B. undulata*, etc.) produit dans sa région inférieure des racines qui y naissent dans le péricycle et s'y disposent comme les radicelles dans la racine terminale (p. 76, fig. 62). Elles sont également dépourvues de poche digestive.

Dans les boutures de tige dê *Begonia* (*B. argyrostigma*, *undulata*, etc.), les racines prennent naissance vis-à-vis des rayons. Là le péricycle est demeuré parenchymateux, tandis qu'il forme un arc scléreux en dehors de chaque faisceau libéroligneux. Il a allongé ces cellules radialement et les a cloisonnées tangentiellement à diverses reprises pour donner un arc de méristème secondaire, bientôt différencié en liber dans sa partie externe, en bois dans sa partie interne. Tous ces arcs libéroligneux secondaires des rayons unissent les arcs libéroligneux secondaires des faisceaux, formés en même temps, en un anneau libéroligneux secondaire continu. C'est

(1) Voy. à ce sujet Ph. Van Tieghem, *Valeur morphologique des cellules annelées et spiralées des Cactées* (*Bull. de la Soc. bot.*, XXXII, p. 103, 1885).

aux dépens de cellules appartenant au parenchyme libérien secondaire issu du péricycle dans les rayons que la radicelle se constitue. Ces cellules s'accroissent radialement et, par deux cloisons tangentielles, séparent les trois régions et l'épistèle. Le mamelon ainsi formé digère d'abord le liber situé en dehors de lui, puis l'endoderme formé de grandes cellules, enfin le reste de l'écorce. Il n'y a pas de poche digestive.

Si ces racines ont une origine un peu différente de celle des racines ordinaires de la même plante, si elles procèdent du parenchyme libérien et non du péricycle, c'est parce qu'elles sont tardives. Aussi faut-il bien se garder de les homologuer aux racines précoces.

2. Racines à poche digestive, ne résorbant de l'écorce de la tige que la partie extérieure à la poche.

Les quinze familles précédentes mises à part, chez toutes les autres Dicotylédones étudiées jusqu'ici à ce point de vue, l'arc d'endoderme de la tige situé en dehors de l'arc rhizogène péricyclique repasse en même temps que ce dernier à l'état de méristème, agrandit ses cellules et les cloisonne, tout au moins radialement, de manière à envelopper la racine d'une poche digestive. Cette poche est mince et simple si l'endoderme ne prend pas de cloisons tangentielles et demeure formé d'une seule assise. Elle est plus épaisse et composée de plusieurs rangs de cellules si l'endoderme se divise progressivement de la base au sommet par des cloisons tangentielles. Elle est plus épaisse encore et plus compliquée quand une ou plusieurs des assises corticales internes se comportent comme l'endoderme et s'y surajoutent.

Plus tard cette poche est, comme dans les radicelles, détachée à la base, soit par digestion de l'anneau cellulaire inférieur, soit par incorporation de cet anneau à la racine et refoulement par glissement de la région supérieure, soit à la fois par incorporation de l'anneau inférieur et par digestion d'une zone annulaire située au-dessus de lui.

Une poche digestive plus ou moins épaisse, à base digérée, incorporée ou à la fois incorporée et digérée, tel est donc, ici comme pour les radicelles, le phénomène accessoire que nous aurons à décrire chaque fois, après avoir expliqué comment se passe le phénomène essentiel, qui est la formation de la racine dans le péricycle.

Nous disposerons les familles que nous avons étudiées dans le même ordre que dans le chapitre correspondant de la première Partie, en ayant soin de comparer, chaque fois qu'il y aura lieu, nos résultats à ceux que M. Lemaire a obtenus de son côté.

I. — APÉTALES SUPÉROVARIÉES.

Urticacées (pl. XXVIII, fig. 424-426). — Chez toutes les Urticacées (*Urtica*, *Morus*, *Cannabis*, *Celtis*, *Ulmus*, etc.), la tige hypocotylée possède, dans sa région inférieure, la structure binaire de la racine terminale. Elle y produit des racines latérales, qui naissent dans le péricycle et y sont disposées comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 79, fig. 63-68); elles ont aussi la même structure au moment de la sortie. Il est donc inutile d'y revenir. Bornons-nous à faire remarquer que l'exception remarquable offerte par les radicelles primaires des Cannabinées se retrouve dans leurs racines latérales hypocotylées. Ainsi, dans le *Cannabis sativa*, par exemple, la tige hypocotylée a un péricycle triple, parfois double, en dehors des faisceaux ligneux, double vis-à-vis des faisceaux libériens. L'assise externe donne l'épiderme de la racine; la seconde produit à la fois l'écorce et le cylindre central; la troisième, s'il y en a une, s'allonge peu et ne donne que la base du cylindre (fig. 426).

Certaines de ces plantes produisent, en outre, des racines latérales sur leur tige adulte. Les *Urtica*, par exemple, forment, à chacun des nœuds inférieurs, quatre racines, une de chaque côté et au-dessus des deux feuilles opposées, en superposition avec les stipules de ces feuilles. Toutes ensemble, ces racines sont donc disposées sur la tige en quatre séries longitudinales,

alternes avec les quatre rangées de feuilles. A ce niveau, c'est-à-dire après le départ des deux faisceaux foliaires, la tige de l'*Urtica dioica* possède, sous l'épiderme, six à dix assises corticales, dont la dernière est un endoderme à plissements peu marqués. Le cylindre central a un péricycle composé de quatre ou cinq assises, contenant, en dehors des faisceaux, des fibres isolées ou par petits paquets, et six faisceaux libéroligneux autour d'une large moelle, deux plus larges en voie de dédoublement en croix avec les foliaires sortants et quatre plus étroits alternes entre ceux-ci et les foliaires.

C'est vis-à-vis des quatre rayons qui séparent ces six faisceaux que sont situés les arcs rhizogènes. Là le péricycle, exclusivement parenchymateux et continu avec le rayon, ne peut plus être délimité vers l'intérieur. Les cellules du rang externe, au nombre de quatre, par exemple, s'accroissent radialement, et, par deux cloisons tangentielles successives, dont la seconde ne porte que sur les deux cellules médianes, séparent d'abord le cylindre central en dedans, puis l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle (fig. 424). Les cellules du second rang s'allongent aussi beaucoup et se cloisonnent, mais ne donnent que la région moyenne du cylindre; celles du troisième rang s'allongent moins et en produisent la base.

En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les cloisonne radialement, et enveloppe le mamelon d'une poche digestive simple (fig. 425), çà et là dédoublée tangentiellement, qui attaque et digère les autres assises corticales, et enfin l'épiderme; elle est résorbée autour de la base à la sortie. A ce moment, l'épiderme de la racine compte six assises au sommet. Son écorce, terminée par une initiale, a cinq ou six assises à la base; il suffit d'un léger défaut d'axilité des coupes pour faire croire à l'existence de deux rangs d'initiales corticales (1). Son cylindre central a aussi une initiale au sommet.

Dans le *Bœhmeria canadensis*, la racine latérale se fait de

(1) Voy. à ce sujet la note de la p. 80.

même en face d'un rayon, et se constitue tout entière aux dépens de l'assise externe du conjonctif, c'est-à-dire du péricycle; elle est de même enveloppée, jusqu'après la sortie, par une poche endodermique simple. Ici le péricycle composé renferme, en même temps que des fibres, de larges tubes laticifères. Il y a ordinairement un de ces tubes de chaque côté de la base de la racine.

C'est encore en face d'un des rayons qui séparent ses vingt-six faisceaux constitutifs, et aux dépens de l'assise externe du conjonctif que se forme la racine latérale du *Dorstenia Massoni*. Ici la zone corticale externe est collenchymateuse; la poche digestive de la racine attaque et digère ce collenchyme pour amener la sortie du membre.

Pour ce qui est des Urticacées, M. Lemaire se borne à citer le *Ficus repens* parmi les plantes qui produisent leurs racines latérales aux dépens de l'assise périphérique du cylindre central, et dans l'intervalle des faisceaux libéroligneux (*loc. cit.*, p. 46).

Pipéracées (pl. XXVIII, fig. 427). — La tige de l'*Houttuynia cordata* produit des racines verticillées aux nœuds. A ce niveau, sous une écorce épaisse, terminée par un endoderme à grandes cellules plissées, le cylindre central a un péricycle double et vingt-quatre faisceaux libéroligneux autour d'une large moelle, huit foliaires plus petits et autant de paires alternes de faisceaux plus grands. C'est vis-à-vis de chaque rayon séparant les deux faisceaux de ces paires que se différencie d'abord un arc rhizogène; plus tard il s'en fait aussi dans les autres rayons. Les cellules externes du rayon s'accroissent radialement, et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions de la racine et l'épistèle. Les cellules de la seconde et de la troisième assise du rayon s'accroissent et se cloisonnent aussi, mais ne donnent que la base du cylindre central; de bonne heure il se constitue à leurs dépens un petit massif de cellules spiralées, qui sert à l'insertion des vaisseaux de la racine, et à son tour se relie

de chaque côté au bois des deux faisceaux voisins. Il faut y voir un rudiment de réseau radicifère.

En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les cloisonne radialement, pour entourer le mamelon d'une poche digestive; plus tard, cette poche est incorporée autour de l'épistèle étroite et longue, et détachée plus haut par glissement. A la sortie, l'épiderme de la racine est quadruple au sommet. Son écorce, terminée par une initiale, est quadruple sur le flanc, où elle se prolonge dans l'épistèle amincie, à travers laquelle s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Son cylindre central a aussi une initiale au sommet.

C'est de la même manière que les racines se constituent dans le péricycle double, vis-à-vis des rayons, dans la tige du *Saururus Loureiri* (fig. 427); mais ici le réseau radicifère est plus développé. Le groupe de cellules spiro-annelées correspondant à chaque racine ne se met, en effet, directement en relation avec le bois du faisceau voisin que d'un seul côté; de l'autre, il se relie à un cordon libéroligneux transversal qui se forme dans l'épaisseur du péricycle, en dehors du faisceau voisin, et qui se prolonge, en passant en dehors de plusieurs autres faisceaux, sur une portion assez grande de la périphérie du cylindre central.

Dans les *Peperomia*, les racines naissent, au contraire, en correspondance avec les faisceaux libéroligneux. La tige du *P. blanda*, par exemple, a, comme on sait, deux cercles de faisceaux dans son cylindre central; l'externe en compte huit, l'interne quatre. C'est au dos de chacun des huit faisceaux externes que naît une racine. Là, entre l'endoderme plissé et les tubes criblés externes, le péricycle ne compte qu'une assise de cellules. Les cellules péricycliques qui occupent la région médiane du faisceau s'accroissent radialement, et, par deux cloisons tangentielles, séparent les trois régions de la racine et l'épistèle. L'arc d'endoderme superposé se dilate et forme une poche digestive simple, plus tard incorporée autour de la base rétrécie de l'épistèle. Ainsi formée, la racine, qui demeure

grêle et cylindrique, traverse l'épaisse écorce pour s'échapper au dehors. A la sortie, son épiderme a quatre assises à l'extrémité sous la poche. Son écorce, terminée par une initiale, en a aussi quatre sur les flancs et raccorde à la base son endoderme avec celui de la tige par les cellules triplissées. Son cylindre central a une seule initiale. Au niveau où naît une racine, le faisceau libéroligneux s'anastomose non seulement latéralement avec les deux faisceaux du même cercle, mais encore vers l'intérieur avec ceux du cercle interne.

Polygonacées (pl. XXVIII, fig. 428-431). — Les Polygonacées produisent des racines dans la région inférieure de leur tige hypocotylée, région où le cylindre central possède ordinairement quatre faisceaux libéroligneux autour d'une moelle (*Polygonum*, etc.). Chacun de ces faisceaux est constitué par un large bois enserrant dans son milieu la file centripète des vaisseaux primitifs et par deux libers écartés provenant de la bipartition des faisceaux libériens de la racine terminale. La racine naît en face du vide laissé entre ces deux libers, en superposition exacte avec la file de vaisseaux primaires qui occupe le milieu du bois. Toutes ensemble, ces racines sont donc disposées en quatre séries, qui continuent les quatre séries de radicelles de la racine terminale.

Au point considéré, le péricycle a dédoublé ses cellules; le rang interne devient générateur du liber et du bois secondaires; le rang externe produit la racine. A cet effet, quatre de ses cellules, situées deux de chaque côté du vaisseau primaire externe (fig. 428), s'accroissent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions de la racine et l'épistèle. L'arc d'endoderme superposé forme une poche digestive simple, et qui demeure telle jusqu'à la sortie, où elle est digérée autour de la base. A ce moment, la racine ainsi formée a la même structure que la radicelle primaire (p. 98, fig. 78).

Dans la tige adulte de ces plantes, c'est vis-à-vis des rayons médullaires que les racines prennent naissance. Dans le *Poly-*

gonum divaricatum, par exemple, la tige compte environ cinquante-six faisceaux en cercle autour d'une large moelle, séparés par des rayons assez étroits; le péricycle y est scléreux en dehors des faisceaux, parenchymateux dans leurs intervalles (1). Toutes les cellules de l'assise externe du cylindre central comprises entre deux faisceaux s'accroissent radialement, et par deux cloisons tangentielles séparent d'abord le cylindre central en dedans, puis l'écorce et l'épiderme, avec l'épistèle (fig. 429). Toutes les cellules sous-jacentes du rayon, jusqu'à l'assise génératrice, grandissent aussi et se cloisonnent, mais ne donnent que la partie inférieure, au début la plus développée, du cylindre central.

L'arc d'endoderme superposé, d'abord concave en dehors, dilate ses cellules, devient bientôt convexe et suit la croissance du mamelon (fig. 429); il en est de même de l'assise ou même des deux assises corticales internes; le tout forme autour de la racine une poche digestive triple dans toute son étendue, qui attaque et digère le reste de l'écorce, composé de huit à dix assises de cellules à parois minces (fig. 430). A la sortie, elle est le plus souvent réduite à son assise interne, les autres ont été résorbées autour de l'extrémité. A ce moment, l'épiderme de la racine ne s'est cloisonné que deux ou trois fois au sommet; son écorce, terminée par une initiale avec deux segments indivis, ne s'est cloisonnée aussi que deux ou trois fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes; son cylindre central, très épais, a une initiale au sommet (fig. 431).

Les choses se passent de même dans la tige du *Polygonum capitatum*, avec cette différence qu'ici le péricycle est scléreux tout autour, excepté vis-à-vis des rayons où doivent naître les radicelles (fig. 429-431).

Dans le *Rumex montanus*, les racines latérales se forment aux mêmes places et de la même manière que dans les *Polygonum*.

(1) Les faisceaux ont aussi un arc scléreux en dedans de leur bois primaire, au pourtour de la moelle.

II. — APÉTALES INFÉROVARIÉES.

Cupulifères. — La tige hypocotylée des Cupulifères (*Betula alba*, *Alnus incana*, *Quercus Libani*, etc.) produit des racines dans sa région inférieure. Même lorsque cette région de la tige se trouve à ce moment avoir acquis une notable proportion de liber et de bois secondaires, les racines s'y forment dans le péricycle et s'y disposent comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 105, fig. 85-90). Dans la tige hypocotylée du *Betula alba*, par exemple, dont la structure est dimère, les racines, déviées d'environ 45 degrés, sont rangées en quatre séries presque équidistantes, qui continuent les quatre séries des radicelles primaires. Dans le *Quercus Libani*, dont la tige hypocotylée est hexamère, les racines sont disposées en six rangées équidistantes, qui continuent celles des radicelles primaires.

Aristolochiacées. — Les *Aristolochia* (*A. fimbriata, rotunda*, etc.) produisent, sur la région inférieure de leur tige hypocotylée binaire, des racines qui y naissent dans le péricycle simple, et s'y disposent en quatre séries longitudinales rapprochées deux par deux du côté des deux faisceaux ligneux, c'est-à-dire des cotylédones, comme il a été dit (p. 111, fig. 93 et 94) pour les radicelles primaires sur la racine terminale. Elles sont aussi enveloppées d'une poche digestive d'origine endodermique, simple à la base, double autour du sommet.

La tige souterraine de l'*Asarum europæum* forme en outre aux nœuds, à droite et à gauche de la feuille, une racine en face d'un des larges rayons qui séparent ses quatre faisceaux libéroligneux. Cette racine naît tout entière dans l'assise externe, péricyclique, du rayon et l'endoderme l'enveloppe d'une poche, double autour de l'extrémité, qui digère l'épaisse écorce.

III. — DIALYPÉTALES SUPÉROVARIÉES.

Renonculacées. — Sur leur tige hypocotylée, qui a la structure binaire, les Renonculacées produisent des racines latérales, qui y naissent du péricycle aux mêmes places que les radicelles primaires sur la racine terminale, c'est-à-dire en quatre rangées plus ou moins rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux primitifs, c'est-à-dire du côté des cotylédons (p. 115, fig. 97-100). Elles sont toujours enveloppées d'une poche endodermique. Dans les *Ranunculus* notamment, l'épaisseur de cette poche varie suivant les espèces. Ainsi dans le *Ranunculus cornutus*, par exemple, l'arc d'endoderme se cloisonne tangentiellement dans toute son étendue et forme une poche triple ou quadruple dès la base, tandis que dans le *R. hirsutus* elle demeure simple dans toute son étendue. De pareilles variations spécifiques ont été signalées plus haut pour les radicelles primaires (p. 116).

Pour ce qui est des racines qui naissent aux nœuds de la tige adulte, leur formation aux dépens du péricycle et avec poche endodermique simple a été décrite en détail par M. Lemaire dans le *Ranunculus aquatilis* (*loc. cit.*, p. 43). Nous avons vérifié la parfaite exactitude de sa description, d'abord dans le *R. aquatilis*, puis dans le *R. Lingua*, où les racines forment un verticille au nœud, et dans le *R. Flammula* où, comme dans le *R. aquatilis*, il n'y en a que deux, situées de part et d'autre de la feuille. Dans ces trois plantes, la tige est, comme on sait, astélique ; aussi est-ce tantôt sur le flanc d'un faisceau, tantôt sur une branche d'anastomose transverse reliant deux faisceaux voisins, que la racine prend naissance au nœud.

Au moment de la sortie, par suite de l'épaississement ultérieur de la zone corticale interne, la racine est fortement rétrécie à la base, où elle est continue avec l'écorce interne et dilatée au sommet, de manière à affecter la forme habituelle aux jeunes racines des Monocotylédones. Son épiderme a pris

quatre cloisons tangentielles à l'extrémité; son écorce, terminée par une seule initiale, accompagnée parfois d'un segment entier, s'est divisée cinq ou six fois sur les flancs ; puis elle se réduit brusquement et l'épistèle n'a que deux assises à la base; son cylindre central a aussi une initiale au sommet. Enfin la poche digestive, toujours simple en bas, où elle est incorporée autour de l'épistèle étroite, est simple autour de l'extrémité dans le *R. aquatilis*, double dans le *R. Flammula*, triple dans le *R. Lingua*.

Dans les *Ranunculus* à tige monostélique, par exemple dans le *R. tuberculatus*, les racines naissent aux nœuds, vis-à-vis des intervalles entre les faisceaux, aux dépens de l'assise externe, péricyclique, du rayon, et suivant le mode ordinaire.

Les *Ranunculus* doivent donc être classés parmi les végétaux qui produisent leurs racines latérales dans les intervalles des faisceaux, et non pas, comme l'a fait M. Lemaire, parmi ceux qui les forment en superposition avec les faisceaux.

Le *Ficaria ranunculoides* produit, comme on sait, à la base de chacun de ses bourgeons axillaires, une racine bientôt arrêtée dans sa croissance et renflée en tubercule. Cette racine, très précoce, naît à la surface même du rameau; elle est exogène. C'est une racine gemmaire, du même ordre que celles des Crucifères (p. 414), non une racine latérale ordinaire de la tige. A ce titre, ces racines n'entrent donc pas dans le cadre de ce mémoire. L'un de nous y reviendra prochainement dans un travail spécial.

Ménispermées. — La tige du *Menispermum canadense* produit deux racines à chaque nœud souterrain, une de chaque côté de la ligne médiane de la feuille. A ce niveau, la tige contient trois petits faisceaux destinés à la feuille prochaine et douze faisceaux plus grands, dont deux alternent avec les trois petits. En dehors des faisceaux, le péricycle comprend sept à huit rangs de petites cellules ; les quatre externes s'épaississent en fibres et constituent un arc scléreux. Vis-à-vis des rayons, il est parenchymateux et formé de cellules plus grandes. C'est

vis-à-vis du rayon qui, de chaque côté, sépare le foliaire médian du grand faisceau voisin, que se différencie l'arc rhizogène. Là les cellules du rang externe s'agrandissent radialement et se cloisonnent comme d'ordinaire pour produire la racine; celles du second et du troisième rang s'accroissent aussi et se segmentent, mais elles ne donnent que la base, fortement développée il est vrai, du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et forme une poche digestive d'abord simple, plus tard double autour de l'extrémité.

Nymphéacées (pl. XXVIII, fig. 432-434). — La tige du *Nuphar luteum* produit des racines latérales disposées en verticilles au-dessous des nœuds. Elles naissent très près du sommet, au-dessous du premier nœud; aussi est-ce dans les coupes longitudinales de l'extrémité du rhizome qu'on en suit le mieux les divers états. La tige de cette plante est, comme on sait, astélique. La racine se forme en correspondance avec un faisceau libéroligneux.

Sur sa face externe, le péricycle de ce faisceau accroît radialement ses cellules et les cloisonne d'abord toutes une première fois tangentiellement pour séparer en dedans le cylindre central, puis plus tard et seulement les deux médianes une seconde fois, pour isoler au sommet du mamelon l'écorce et l'épiderme; les latérales forment l'épistèle, appelée à prendre ici un grand développement. En face du mamelon, l'assise la plus interne de l'écorce, qui n'est pas plissée à cet âge, parce qu'elle doit subir encore un certain nombre de cloisonnements tangentiels pour épaissir l'écorce, qui est l'endoderme actuel, mais non l'endoderme définitif, dilate ses cellules et les cloisonne radialement pour envelopper le mamelon d'une poche digestive simple, qui demeure telle jusqu'à la fin. De bonne heure, la petite calotte épidermique de la racine est repoussée en dehors, détachée de l'écorce et incrustée pour ainsi dire dans la concavité de la poche, dont elle a désormais l'air de faire partie. Puis, tandis que l'épaississement centripète de

l'écorce de la tige refoule au dehors le mamelon radical en allongeant d'autant l'amorce péricyclique qui le relie au faisceau, ce mamelon s'agrandit en cloisonnant ses trois régions suivant le mode bien connu.

A la sortie, l'épiderme de la racine, revêtu par la poche qui s'est dissociée sur les flancs autour de l'épistèle, et dont le bord est détaché de l'écorce, a pris quatre cloisons tangentielles et est devenu quintuple au sommet. Son écorce, terminée par une seule initiale, a pris neuf assises sur les côtés; elle s'amincit ensuite en se prolongeant dans l'épistèle ; ici le raccord de l'endoderme de la racine avec celui du faisceau se fait non seulement à travers l'épistèle, mais encore le long de l'amorce transversale qui résulte de l'épaississement ultérieur de l'écorce de la tige.

Le *Nymphæa rubra* forme ses racines latérales de la même manière, avec poche endodermique simple, avec épiderme terminal, bientôt séparé de l'écorce et incrusté dans la poche, enfin avec amorce intracorticale très développée (fig. 432 et 433). Ici, au moment de la sortie, l'épiderme n'est cloisonné tangentiellement qu'une seule fois, tandis que l'écorce, terminée par une initiale, a pris cinq assises latéralement.

Après la sortie, quand le bonnet de poche est détaché, l'épiderme s'exfolie, comme on sait, tout entier pour former la calyptre, et c'est l'assise corticale externe, découpée la première dans les initiales, qui devient l'assise pilifère, tandis que la seconde assise prend des cloisons tangentielles centrifuges et produit la zone corticale externe. Au sommet de la racine développée du *Nymphæa rosea* (fig. 434), par exemple, le cloisonnement tangentiel des initiales de l'écorce est extrêmement rapide et l'écorce prend de très bonne heure son diamètre définitif et ses lacunes aérifères. Il en résulte que les surfaces de séparation de l'écorce avec l'épiderme et avec le cylindre central sont planes; le long de ces surfaces planes, les cellules des trois régions sont enchevêtrées (fig. 434), et les initiales sont par suite assez difficiles à distinguer. C'est ce qui explique que M. Eriksson et M. Flahault aient attribué

à la racine de ces plantes un groupe d'initiales communes aux trois régions (voy. p. 130, note).

Nelombées (pl. XXIX, p. 435-436). — Les racines latérales du *Nelumbo nucifera* se forment en verticilles aux nœuds de la tige. A ce niveau celle-ci a, comme on sait, dans son épaisse écorce lacuneuse, plusieurs cercles de faisceaux libéroligneux; son cylindre central contient, autour de sa moelle creuse, douze faisceaux alternant sur deux cercles. C'est en correspondance avec les six faisceaux les plus externes du cylindre central que sont situées les racines, groupées par trois à cinq en dehors de chacun de ces faisceaux et divergeant comme les doigts de la main. Elles naissent très près du sommet de la tige, au second nœud. Vis-à-vis de chacun des faisceaux en question, le péricycle, qui est très épais, différencie par places son assise externe et constitue, par exemple, cinq arcs rhizogènes distincts, mais rapprochés.

Dans chacun de ces arcs, les cellules du rang externe s'accroissent radialement et, par une première cloison tangentielle, séparent en dedans le cylindre central (fig. 435). Plus tard seulement, quand le mamelon fait déjà une assez forte saillie, l'assise externe se cloisonne à son tour tangentiellement pour isoler l'écorce et l'épiderme, avec l'épistèle (fig. 436). Les cellules sous-jacentes du péricycle grandissent aussi et se cloisonnent, mais ne produisent que la base de la racine, par où elle s'attache plus tard sur le faisceau correspondant. En même temps, l'assise la plus interne de l'écorce, qui n'est pas encore plissée et qui a encore bien des cloisonnements tangentiels à subir avant de devenir l'endoderme définitif, dilate ses cellules vis-à-vis de l'arc rhizogène et enveloppe le mamelon d'une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la fin, où elle est digérée autour de la base. En traversant l'écorce, la racine digère non seulement le parenchyme, mais encore les faisceaux libéroligneux qu'elle rencontre.

A la sortie, son épiderme, simple sur les flancs, a six ou sept assises autour du sommet. Au contraire de ce qui a lieu chez

les Nymphéacées, et conformément à ce qui se passe chez toutes les autres Dicotylédones, il demeure adhérent au corps de la racine. Ses assises externes seules s'exfolient progressivement pour former la calyptre. L'écorce de la racine, terminée par une initiale, a cinq ou six assises sur les flancs. Le cylindre central a aussi une seule initiale.

Malvacées. — Le Malvacées (*Malva*, *Hibiscus*, etc.) produisent, dans la région inférieure de leur tige hypocotylée quaternaire, des racines, qui y naissent dans le péricycle simple, s'y disposent en quatre séries, et se trouvent conformées à la sortie comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 132, fig. 120 et 122). Il est donc inutile d'y revenir.

Tiliacées. — Les Tiliacées (*Tilia*, *Sparmannia*, *Corchorus*, etc.) forment des racines dans la région hypocotylée de leur tige. Le *Tilia macrophylla*, par exemple, a dans cette région quatre faisceaux libéroligneux autour d'une moelle. Chacun d'eux est constitué par un large bois renfermant en son milieu le faisceau centripète primitif, et par deux groupes libériens fort écartés, provenant de la bifurcation récente des faisceaux libériens de la racine terminale. Simple en dehors des faisceaux libériens, le péricycle compte quatre assises en dehors des faisceaux ligneux. C'est en ces points que naissent les racines, dont les quatre séries continuent par conséquent celles des racines primaires sur la racine terminale.

Quatre cellules de l'assise péricyclique externe, déjà plus grandes que les autres, s'agrandissent encore et se partagent par une cloison tangentielle qui sépare en dedans le cylindre central; puis une nouvelle cloison extérieure à la première isole dans la région médiane de l'arc l'écorce et l'endoderme, en laissant l'épistèle sur les bords. L'arc d'endoderme superposé se dilate en une poche digestive simple. Enfin, à la sortie, la racine a la même structure qu'une radicelle primaire (p. 137, fig. 127).

Euphorbiacées. — Les Euphorbiacées (*Euphorbia segetalis*,

Ricinus communis, etc.) produisent dans leur tige hypocotylée, dont la structure est quaternaire, des racines qui y naissent dans le péricycle, s'y disposent en quatre rangs et se trouvent à la sortie conformées comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 145, fig. 134-135). Dans l'*Euphorbia segetalis*, par exemple, la tige hypocotylée a autour d'une moelle quatre faisceaux libéroligneux qui continuent la direction des quatre faisceaux libériens du pivot. C'est vis-à-vis des rayons qui les séparent, c'est-à-dire en correspondance avec les faisceaux ligneux du pivot, que naissent les racines. L'assise externe du rayon, située sur le prolongement du péricycle simple qui sépare les faisceaux de l'endoderme, accroît ses cellules, au nombre de quatre, et les divise tangentiellement comme d'ordinaire pour séparer les trois régions de la racine avec l'épistèle. Les trois cellules d'endoderme superposées se dilatent et forment une poche digestive, d'abord simple, qui se dédouble plus tard autour de l'extrémité.

Ces plantes forment aussi des racines dans les portions souterraines de leur tige adulte ; elles y naissent en face des rayons médullaires. Dans l'*Euphorbia prunifolia*, par exemple, la tige a six faisceaux libéroligneux autour d'une moelle creuse. En dehors des faisceaux, le péricycle comprend, sous l'endoderme plissé, trois assises de cellules étroites ; dans les rayons, il est formé d'une seule assise de cellules plus larges. Au milieu d'un rayon, cinq ou six de ses cellules s'agrandissent et se cloisonnent suivant la règle ordinaire pour former la racine. La seconde assise du rayon se cloisonne aussi, mais seulement pour produire la base de l'organe et les amorces qui le relient aux deux faisceaux voisins. L'endoderme forme une poche digestive simple à la base, double au sommet.

M. Lemaire a décrit en détail la formation des racines latérales dans le *Mercurialis perennis* (*loc. cit.*, p. 58). Elles naissent dans l'intervalle des faisceaux, aux dépens de l'assise externe du cylindre central, et sont enveloppées d'une poche digestive endodermique, composée de plusieurs assises dans toute son étendue.

Callitrichées (pl. XXIX, fig. 437). — La tige du *Callitriche verna* produit deux racines à chaque nœud, en croix avec les deux feuilles opposées. A ce niveau, sous l'endoderme marqué de plissements rapprochés de la face interne, le cylindre central étroit se compose d'un péricycle simple et de deux faisceaux libéroligneux correspondant aux feuilles, qui se touchent au centre par leurs petites pointes ligneuses sans laisser de moelle. C'est dans les intervalles de ces deux faisceaux, en croix avec les feuilles par conséquent, que naissent les deux racines. Là les cellules du péricycle, au nombre de cinq ou six, s'accroissent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent d'abord le cylindre central en dedans, puis l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les cloisonne radialement et enveloppe la racine d'une poche simple, qui demeure telle jusqu'à la sortie, où elle est digérée autour de la base (fig. 437). A ce moment, l'épiderme de la racine, simple sur les flancs, a pris deux cloisons tangentielles et est devenu triple au sommet. Son écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, a cinq assises vers la base, où elle se continue dans l'épistèle rétrécie, à travers laquelle se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central a aussi une initiale au sommet.

M. Lemaire a étudié en détail la formation des racines latérales dans le *Callitriche stagnalis* (*loc. cit.*, p. 47). Nos observations sont entièrement conformes aux siennes, sauf au sujet de l'endoderme. D'abord M. Lemaire n'y a pas vu de plissements sur les faces radiales : nous y avons constaté des plissements très marqués. Ensuite l'auteur admet que la poche endodermique se dédouble tardivement autour du sommet : nous l'avons toujours trouvée simple, même après que la racine a perforé l'épiderme.

Passiflorées. — La tige hypocotylée binaire du *Passiflora gracilis* produit des racines qui y naissent dans le péricycle, s'y disposent en quatre rangées rapprochées deux par deux

et se trouvent, à la sortie, constituées comme les radicelles primaires de la racine terminale (p. 150, fig. 140 et 141). Ce mode de formation et de disposition n'est pas changé, lorsque la racine naît assez tard pour que la tige ait déjà acquis une grande épaisseur de bois et de liber secondaires.

Violacées (pl. XXIX, fig. 438-440). — Les Violacées produisent des racines dans la région inférieure de leur tige hypocotylée binaire, peu de temps après que les tissus secondaires y ont apparu. Dans le *Viola nana*, par exemple, sous l'endoderme qui a dilaté ses cellules en les divisant par des cloisons radiales sans plissements, le péricycle est simple en dehors du liber, double en dehors des deux faisceaux ligneux primitifs; ici, l'assise interne s'est cloisonnée tangentiellement pour produire deux rayons secondaires, séparant les bois secondaires des deux faisceaux libéroligneux. C'est en face de ces rayons, aux dépens de l'assise externe du péricycle, que se constitue la racine; les cellules du rayon ne contribuent qu'à l'insertion de la racine, qui attache ses vaisseaux à la fois en dedans sur le bois primaire et latéralement sur les deux bois secondaires. La racine se forme d'ailleurs comme la radicelle primaire dans la racine terminale (p. 152, fig. 143). Elle est enveloppée aussi par une poche endodermique simple, plus tard incorporée à la base, et possède la même structure au moment de la sortie.

Quand elles sont précoces, les racines latérales des *Viola* se forment donc suivant le type normal.

Ces plantes produisent aussi tardivement, sur les parties rampantes de la tige adulte, le long des entre-nœuds ou au voisinage des nœuds, des racines latérales qui naissent tout autrement. Étudions-les dans le *Viola canadensis*.

Sous l'épiderme, la tige de cette plante a une écorce d'environ quinze assises, limitée par un endoderme à cellules aplaties pourvues de plissements très marqués. Le cylindre central a la forme d'un triangle dont les sommets sont occupés par les trois faisceaux destinés à la feuille prochaine; le

liber et le bois, séparés par l'assise génératrice en voie de cloisonnement, y forment un anneau continu autour de la large moelle; entre cet anneau et l'endoderme est un péricycle simple à larges cellules, munies de parois assez épaisses et collenchymateuses. C'est sur les côtés du triangle, au milieu ou un peu latéralement, que se forment les racines. Elles prennent naissance au-dessous des tubes criblés les plus internes, dans l'assise de parenchyme libérien qui les borde, ou bien, si cette assise s'est déjà cloisonnée tangentiellement pour produire le méristème formateur du liber et du bois secondaires, dans les cellules externes et libériennes de ce méristème.

A cet effet, un arc comprenant, par exemple, huit ou dix de ces cellules en largeur sur la section transversale, quelquefois seulement quatre (fig. 438), allonge radialement ses éléments. Ceux-ci prennent d'abord une cloison tangentielle qui sépare en dedans le sommet du cylindre central avec son initiale (fig. 438); puis il se fait une seconde cloison tangentielle en dehors de la première, qui sépare l'écorce de l'épiderme (fig. 439). Les cellules sous-jacentes du méristème secondaire s'accroissent aussi et se cloisonnent, mais ne donnent que la région inférieure du cylindre central. Le tout constitue un mamelon qui repousse d'abord en dehors et écrase le liber, le péricycle et l'endoderme, puis perfore, semble-t-il, sans la digérer, ou en la digérant incomplètement et en en rejetant latéralement les débris, la couche écrasée formée par ces trois tissus; il pénètre ainsi dans l'écorce dont il attaque et dissout successivement toutes les assises, perfore l'épiderme et paraît enfin au dehors. Tantôt il n'y a pas de poche digestive du tout et c'est l'épiderme de la racine qui résorbe directement le tissu cortical. Il semble que la digestion en soit difficile, car le mamelon est entouré de débris de membranes écrasées et plissées, qui résistent assez longtemps, m .is finissent par disparaître. Tantôt le mamelon est enveloppé d'une poche formée par le parenchyme libérien extérieur à lui (fig. 440); mais dans ce cas, comme dans le précédent, l'endoderme est attaqué et disparaît.

A la sortie, l'épiderme de la racine s'est divisé tangentiellement huit à dix fois autour du sommet, où il forme une épaisse calyptre. L'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, a six assises à la base, où son endoderme plissé vient se raccorder, malgré la difficulté du trajet, avec l'endoderme de la tige. Pour cela, les cellules correspondantes du parenchyme libérien, du péricycle et de l'endoderme, qui occupent le bord du trou pratiqué par la racine, amincissent leurs parois, les rajeunissent pour ainsi dire, et y prennent des plissements; dans les cellules endodermiques, ces plissements nouveaux se forment sur la face interne, de façon que ces cellules deviennent triplissées, comme dans le cas ordinaire. Le cylindre central se termine aussi par une initiale.

Les racines tardives des *Viola* se forment donc bien aux dépens de l'arc rhizogène de la même manière et elles acquièrent aussi la même structure que leurs racines précoces et que leurs radicelles; seulement l'arc rhizogène est emprunté ici, non au péricycle, mais au parenchyme libérien primaire ou secondaire, et de plus, il n'y a ordinairement pas de poche digestive. Cette double différence tient sans doute à ce que, à l'âge avancé où ces racines apparaissent, le péricycle a perdu, en épaississant ses parois, sa faculté de croître.

En un mot, ces racines naissent comme toutes les racines tardives. Si on les assimilait aux racines précoces des autres plantes, on serait conduit à en faire un type à part; mais c'est cette assimilation même qui ne serait pas légitime.

M. Lemaire a décrit en détail la formation de ces racines tardives dans le *Viola palustris* et le *V. odorata* (*loc. cit.*, p. 67). Ses observations sont conformes aux nôtres dans tous les points essentiels (1). Seulement, faute d'avoir introduit la

(1) Pourtant, d'après M. Lemaire, l'arc rhizogène se formerait au-dessous du liber, dans l'assise génératrice libéroligneuse ou cambium : la nature libérienne de l'arc lui a échappé. De plus, les racines du *Viola palustris* naîtraient aux trois angles du cylindre central; tandis que celles du *V. canadensis* se forment sur les trois côtés. Enfin l'auteur ne dit rien de la manière dont se comportent le liber, le péricycle et l'endoderme situés en dehors de la racine.

distinction, à notre avis nécessaire, entre racines précoces et racines tardives, il a fait la faute d'homologuer les racines en question aux racines qu'il avait étudiées chez la plupart des autres plantes et qui étaient précoces, ce qui l'a conduit à regarder les *Viola* comme représentant un type spécial de formation de racines. En réalité, les *Viola* forment leurs radicelles et leurs racines latérales précoces comme toutes les autres Dicotylédones; elles forment aussi comme toutes les autres Dicotylédones leurs radicelles et leurs racines tardives. Ici, comme on l'a vu en sens inverse pour les racines gemmaires ultra-précoces des Crucifères (p. 414), la différence d'origine est en rapport avec la nature particulière de la racine, non avec la nature spécifique de la plante considérée.

Géraniacées. — Les Géraniacées (*Geranium*, *Erodium*, etc.) produisent des racines sur la région hypocotylée de leur tige, qui est binaire comme le pivot, mais dépourvue de réseau de soutien sous-épidermique. Ces racines naissent dans le péricycle simple, comme il a été dit pour les radicelles primaires (p. 463, fig. 145), sont enveloppées d'une poche endodermique double dans toute son étendue, et ont à la sortie la même structure que les radicelles. Elles sont disposées tantôt presque exactement en face des faisceaux ligneux primaires, tantôt faisant avec eux une déviation de 35 à 40 degrés (*Geranium molle*, etc.).

Oxalidées. — Outre les racines latérales issues de la tige hypocotylée binaire et qui y naissent (*Oxalis valdiviana*, etc.) comme les radicelles dans la racine terminale (p. 156, fig. 147), les *Oxalis* en produisent d'autres sur leur tige adulte.

Dans l'*Oxalis corniculata*, par exemple, l'écorce n'a que cinq assises de grandes cellules, dont la dernière est un endoderme à plissements bien marqués. Le cylindre central a un péricycle double, renfermant çà et là quelques fibres en dehors du liber, et dix faisceaux libéroligneux en cercle

autour d'une moelle. L'arc rhizogène péricyclique correspond à un rayon; il accroît ses deux rangs de cellules, mais c'est le rang externe seul qui, par deux cloisons tangentielles successives, sépare les trois régions de la racine avec leurs initiales; la seconde assise ne donne que la région inférieure, au début la plus considérable, du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé se développe autour du mamelon et forme une poche digestive simple.

M. Lemaire a décrit brièvement la formation des racines dans l'*Oxalis stricta* (*loc. cit.*, p. 62). Il y attribue le cylindre central tout entier à la seconde assise péricyclique (p. 62); pourtant, un peu plus loin, il dit que cette assise ne donne que « la grande partie du cylindre central » (p. 63). C'est cette seconde manière de voir qui est seule conforme à nos observations.

Balsaminées. — Chez les Balsaminées, dans l'*Impatiens cristata*, par exemple, la tige hypocotylée, dans sa région inférieure qui est quaternaire, produit des racines latérales, qui naissent dans le péricycle unisérié avec poche endodermique simple, comme les radicelles dans la racine terminale (p. 157, fig. 148). Seulement, elles sont autrement disposées. Elles se forment, en effet, non en face des faisceaux ligneux, mais latéralement vis-à-vis des intervalles qui les séparent des faisceaux libériens. Elles forment huit rangées rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. L'arc rhizogène déborde un peu le faisceau ligneux. Aussi lorsque deux de ces racines naissent au même niveau en correspondance avec le même faisceau ligneux, se fait-il une racine double, munie de deux cylindres centraux distincts dans la même écorce et sous une poche endodermique commune. Cette production des racines doubles a été déjà décrite et figurée par l'un de nous dans l'*Impatiens cristata* (1).

(1) Ph. Van Tieghem, *Sur les racines doubles et les bourgeons doubles des Phanérogames* (*Journal de botanique*, I, p. 19, fig. 1, 1887).

Limnanthées. — La tige hypocotylée du *Limnanthes Douglasii*, dans sa région inférieure qui partage la structure binaire de la racine terminale, produit des racines latérales aux dépens du péricycle, vis-à-vis des deux faisceaux ligneux primaires ou avec une faible déviation; ces racines y naissent comme les radicelles primaires (p. 168, fig. 149). Elles sont enveloppées aussi d'une poche endodermique simple à la base, double autour de l'extrémité, et ont à la sortie la même structure.

La tige épicotylée de cette même plante produit aussi de très bonne heure des racines latérales aux nœuds, une de chaque côté de la feuille; cette production commence déjà au nœud cotylédonaire, où il se fait quatre racines. A ce niveau, le cylindre central possède, sous un péricycle simple, quatre faisceaux libéroligneux, deux plus petits destinés aux deux feuilles prochaines, et deux plus grands en croix avec les premiers. Les arcs rhizogènes correspondent aux intervalles de ces faisceaux. Chacun d'eux se comporte comme d'ordinaire, et l'arc d'endoderme se développe aussi autour du mamelon en une poche digestive, simple autour de la base, double dans le reste de son étendue, résorbée dans l'anneau basilaire au moment de la sortie.

Linées. — Le *Linum usitatissimum* produit des racines dans sa tige hypocotylée binaire. Elles y naissent dans le péricycle simple, en quatre rangées fort rapprochées deux par deux, et sont enveloppées d'une poche digestive simple, plus tard digérée à la base, comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 159, fig. 150-151). Elles ont aussi la même structure au moment de la sortie. L'écorce, notamment, n'a au sommet qu'une paire d'initiales étroites, et non pas deux rangs d'initiales comme l'ont admis M. de Janczewski et M. Flahault (voy. p. 160, en note).

Légumineuses (pl. XXIX, fig. 441-445). — Les Légumineuses forment des racines latérales dans la région inférieure

de leur tige hypocotylée. Chez une plante donnée, ces racines naissent et se disposent comme les radicelles primaires dans la racine terminale de cette plante. Tout ce qui a été dit (p. 173 et suiv., fig. 164-186) au sujet de la formation et de la disposition des radicelles primaires, ainsi que des variations qu'on y observe suivant les genres, s'applique donc aux racines latérales hypocotylées, notamment à celle de l'*Amorpha* représentée figure 441, et il n'y a pas lieu d'y revenir.

Plusieurs de ces plantes produisent aussi des racines latérales aux nœuds de leur tige adulte. Prenons pour exemple le *Lotus corniculatus*.

Les racines latérales y naissent par paires aux nœuds, de part et d'autre du milieu de la feuille. A ce niveau, la tige a, sous l'épiderme, huit assises corticales dont la dernière est un endoderme à plissements peu marqués, rapprochés de la face externe. Cet endoderme se cloisonne plus tard tangentiellement en dedans des plissements pour former un périderme. Le cloisonnement est presque exclusivement centrifuge, de sorte que le périderme se compose d'un phelloderme amylacé de plus en plus épais, recouvert à l'extérieur par une seule assise de liège portant les plissements primitifs. Le cylindre central a neuf faisceaux libéroligneux autour d'une moelle, trois plus petits destinés à la feuille et six plus grands; en dehors des faisceaux, le péricycle est scléreux et comprend en moyenne trois épaisseurs de fibres; dans les intervalles, il est formé de grandes cellules à parois minces et peut être regardé comme simple, puisque l'assise sous-endodermique à la même épaisseur que les arcs scléreux voisins.

L'arc rhizogène péricyclique est situé en face du rayon qui sépare de chaque côté le faisceau foliaire médian, sur le point de sortir du faisceau réparateur voisin. Il compte ordinairement quatre à six cellules de largeur (fig. 442). Ces cellules s'agrandissent latéralement et suivant le rayon, puis, par deux cloisons tangentielles successives, séparent d'abord en dedans la périphérie du cylindre central avec son initiale, ensuite au milieu l'écorce et en dehors l'épiderme (fig. 443). En même

temps les cellules de la seconde assise du rayon s'accroissent aussi radialement et se cloisonnent; mais elles ne produisent que la région inférieure, au début la plus volumineuse, du cylindre central. C'est dans la troisième assise que s'établissent les cloisons tangentielles qui relient les arcs générateurs intra-fasciculaires en un anneau continu (fig. 444).

Le mamelon ainsi formé pousse devant lui les cellules correspondantes de l'endoderme, au nombre de cinq, qui n'ont pas encore, à cet âge, commencé à se cloisonner pour produire le périderme. Ces cellules s'accroissent et se divisent d'abord par quelques cloisons radiales, puis par quelques cloisons tangentielles, de manière à envelopper la racine d'une poche digestive composée (fig. 443). L'avant-dernière assise corticale dilate aussi ses cellules, qui prennent çà et là une cloison radiale, et contribue à épaissir la poche. C'est cette poche épaisse qui attaque et digère progressivement les autres assises corticales (fig. 444 et 445). A la sortie, elle est incorporée à la base. A ce moment, sous la poche qui compte ordinairement quatre assises, l'épiderme de la racine s'est divisé tangentiellement six à huit fois autour du sommet. Son écorce, terminée par une initiale, a huit ou neuf assises à la base. Son cylindre central a aussi une initiale au sommet.

Les racines latérales se forment exactement de même dans les *Lotus uliginosus*, *tenuis* et *hispidus*.

Elles naissent encore de la même manière dans les *Trifolium* (*Tr. repens*, *Tr. Wormskjoldii*, etc), avec cette différence qu'ici plusieurs des assises corticales internes s'ajoutent à l'endoderme pour former la poche digestive, laquelle est beaucoup plus épaisse que dans les *Lotus*. Aussi ne lui reste-t-il qu'un petit nombre d'assises corticales à digérer pour paraître au dehors et la racine ainsi enveloppée n'est-elle que très peu endogène.

Les racines latérales nodales de ces plantes naissent donc, tout aussi bien que leurs racines latérales hypocotylées et que leurs radicelles, tout entières dans le péricycle, avec une poche

digestive endodermique, ou à la fois endodermique et corticale, plus ou moins épaisse suivant les genres.

M. Lemaire a décrit en détail la formation des racines latérales du *Lotus uliginosus* (*loc. cit.*, p. 63). Ses résultats diffèrent des nôtres en deux points essentiels. En premier lieu, le péricycle n'engendrerait que le cylindre central de la racine ; c'est l'endoderme qui en produirait à la fois l'écorce, l'assise pilifère et la coiffe. En second lieu, toutes les régions de la racine se confondraient au sommet dans un groupe d'initiales communes, ce qui serait pour étonner du moment que le cylindre central aurait une origine entièrement distincte. En réalité, il y a là une double erreur, que nous combattons maintenant contre M. Lemaire pour les racines latérales, après l'avoir combattue contre M. de Janczewski pour les radicelles dans la première partie de ce Mémoire (p. 173 et suiv.).

Rosacées (pl. XXX, fig. 446-448). — Les Rosacées forment dans la région inférieure de leur tige hypocotylée, laquelle est dépourvue de réseau sus-endodermique quand la racine terminale en possède un, des racines latérales qui y naissent dans le péricycle et s'y disposent comme il a été dit pour les radicelles primaires de la racine terminale (p. 191 et suiv., fig. 188 à 194), en quatre séries rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux, si la structure est dimère (*Poterium*, *Alchemilla*, *Potentilla*, *Geum*, etc), en quatre ou six séries équidistantes, si elle est tétramère (*Prunus*, *Pirus*, etc.) ou hexamère (*Amygdalus*, etc.).

Plusieurs de ces plantes produisent en outre des racines latérales sur les portions rampantes ou souterraines de leur tige adulte. Prenons pour exemple le *Geum urbanum*, qui produit à chaque nœud deux racines latérales, une de chaque côté de la ligne médiane de la feuille.

A ce niveau, la tige a, sous l'épiderme, environ vingt assises corticales dont les cinq ou six internes ont leurs cellules aplaties superposées en séries radiales et dont la dernière est un endoderme plissé. Le cylindre central a huit faisceaux

libéroligneux autour de la moelle, trois plus étroits destinés à la feuille et cinq plus larges, dont deux alternent avec les foliaires, tandis que les trois autres occupent le côté opposé. En dehors des faisceaux, le péricycle compte ordinairement cinq rangs de grandes cellules dont l'externe seul a ses parois minces et lisses; tous les autres ont leurs membranes épaissies et ponctuées. Cette assise péricyclique externe, qui se continue avec les mêmes caractères dans les rayons, prend de bonne heure une série de cloisons tangentielles et produit ainsi tout autour du cylindre central un périderme dans lequel l'assise subéreuse la dernière formée, qui est souvent l'avant-dernière du périderme total, plisse ses faces latérales et transverses, de manière à ressembler à l'endoderme. L'un de nous a étudié la formation de ce périderme péricyclique chez les Fragariées et y a signalé la production de cette assise plissée d'origine secondaire, qu'il faut avoir soin de ne pas confondre avec un endoderme (1).

L'arc rhizogène est situé en face du rayon qui sépare de chaque côté le faisceau foliaire médian, sur le point de sortir, du faisceau réparateur voisin. Là les cellules à parois minces du rang péricyclique externe, qui n'ont pas encore commencé à se cloisonner pour produire le périderme, s'accroissent radialement et se cloisonnent tangentiellement à deux reprises pour séparer d'abord en dedans l'extrémité du cylindre central avec son initiale, puis au milieu l'écorce et en dehors l'épiderme. Les cellules de la seconde, de la troisième et même de la quatrième assise du rayon s'accroissent aussi beaucoup et se cloisonnent, mais ne produisent que la partie inférieure du cylindre central. C'est dans la cinquième assise que se font les cloisonnements tangentiels qui unissent les arcs générateurs intrafasciculaires en une assise génératrice continue.

A mesure que proémine le mamelon ainsi formé, l'endoderme et les trois ou quatre assises de l'écorce interne qui lui sont superposées dilatent leurs cellules et les cloisonnent

(1) H. Douliot, *Sur le périderme des Rosacées* (*Bull. de la Soc. bot.*, XXXIV, p. 425, 1887).

radialement, de manière à envelopper la racine d'une poche assez épaisse dans toute son étendue, qui digère le reste de l'écorce et qui est plus tard résorbée elle-même autour de la base à la suite du grand épaississement de l'écorce. A la sortie, l'épiderme de la racine s'est cloisonné huit à dix fois autour du sommet. Son écorce, terminée par deux initiales accompagnées souvent de chaque côté par un segment indivis, a quinze assises vers la base, où son endoderme se raccorde avec l'endoderme de la tige par l'intermédiaire des cellules triplissées. Le cylindre central a une initiale au sommet.

Dans l'*Achemilla vulgaris* (fig. 446), où le péricycle est seulement double ou même parfois simple en dehors des faisceaux, on observe la même structure rayonnante de l'écorce interne, la même formation précoce d'un périderme à assise plissée dans l'assise péricyclique externe, la même production de la racine latérale en face d'un rayon aux dépens de cette assise péricyclique externe avant la formation du périderme, avec contribution des assises profondes du rayon pour édifier la base du cylindre central et de la zone corticale interne pour constituer une poche digestive assez épaisse.

Il en est encore de même dans le *Potentilla reptans*. Mais dans les *Fragaria* (*F. vesca*, *F. elatior*, etc.), nous avons vu les choses se passer un peu différemment. Ici la tige possède au nœud, après le départ des trois faisceaux foliaires, trois larges faisceaux libéroligneux, un de chaque côté de l'ouverture foliaire, et le troisième en face. C'est en superposition avec les deux faisceaux latéraux et vers leur milieu que naissent les deux racines. Là le péricycle n'a que deux rangs ; l'externe produit de bonne heure un périderme à assise plissée, et c'est seulement pendant ou après la formation de ce périderme que la racine se développe. Elle est donc un peu tardive.

L'arc rhizogène s'établit dans la zone interne du périderme, sans doute dans son assise génératrice. Les cellules de cette assise, au nombre de sept, par exemple, sur la section transversale, grandissent beaucoup en tous sens et, par deux cloisons tangentielles, séparent les trois régions de la racine, qui

se cloisonnent et s'épaississent rapidement; l'épiderme notamment prend bientôt une dizaine de cloisons tangentielles (fig. 447). La seconde assise péricyclique et même le parenchyme libérien sous-jacent accroissent aussi leurs éléments pour constituer la base du cylindre central. Tantôt les assises de liège déjà formées en dehors du mamelon dilatent leurs cellules et les cloisonnent radialement de manière à envelopper la racine d'une poche digestive assez épaisse, qui attaque d'abord l'endodèrme, puis toutes les autres assises corticales (fig. 448). Tantôt le jeune périderme superposé est digéré tout d'abord par l'épiderme du mamelon, qui résorbe ensuite l'endoderme, puis toutes les assises corticales; la racine est alors dépourvue de poche (fig. 447). On voit donc que dans une même plante, suivant l'âge où elle y prend naissance, la racine latérale peut avoir une poche digestive ou n'en avoir pas. Les racines des *Fragaria*, parce qu'elles sont plus tardives, se développent donc un peu autrement que celles des *Geum*, *Alchemilla* et *Potentilla;* elles se forment sur les faisceaux et non sur les rayons, mais surtout leur poche digestive, quand elles en ont une, se fait non avec l'endoderme et les assises corticales internes, comme dans les plantes précédentes, mais avec la zone externe du périderme, et elles peuvent aussi ne pas avoir de poche digestive.

Nous avons observé également de pareilles racines tardives à poche digestive péridermique dans le *Geum urbanum*. La figure 448 représente dans cette plante une pareille racine, née sous le périderme avec un arc rhizogène composé de neuf cellules.

M. Lemaire a décrit en détail et figuré la formation des racines latérales dans l'*Alchemilla vulgaris* (*loc. cit.*, p. 55). Ses observations sont conformes aux nôtres, excepté en un point relativement secondaire. Il admet, en effet, comme d'autres avant lui, que l'assise génératrice du périderme est l'endoderme de la tige et que c'est ce jeune périderme endodermique qui entre dans la composition de la coiffe pour former ce qu'il appelle une « calotte » de plusieurs assises.

IV. — DIALYPÉTALES INFÉROVARIÉES.

Saxifragées. — Les Saxifragées produisent, sur leur tige hypocotylée, des racines latérales qui y naissent dans le péricycle et y sont disposées comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 204).

Plusieurs de ces plantes forment aussi des racines dans leur tige adulte. Le *Saxifraga aconitifolia*, par exemple, développe, à chaque nœud, d'abord deux racines situées de part et d'autre du milieu de la feuille, puis plus tard une ou deux autres racines de chaque côté des premières, en s'éloignant de la feuille. A ce niveau, la tige a, sous l'épiderme, environ vingt assises corticales, dont la dernière est un endoderme à petites cellules plissées. Le cylindre central a cinq faisceaux foliaires en voie de sortie et cinq faisceaux plus larges alternes avec les foliaires et souvent subdivisés. C'est en superposition avec les deux larges faisceaux qui avoisinent le foliaire médian que se forment les deux premières racines; les autres correspondent plus tard à ceux qui séparent les foliaires latéraux. En dehors de ces faisceaux, le péricycle a ordinairement trois assises.

L'arc rhizogène accroît radialement ses cellules externes et les cloisonne deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions de la racine; les cellules des deux autres rangs, et aussi celles du parenchyme libérien sous-jacent, s'agrandissent en même temps et se cloisonnent, mais ne produisent que la région inférieure du cylindre central. En même temps, l'endoderme dilate ses cellules et les cloisonne radialement, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive simple. A la sortie, l'épiderme de la racine a pris huit à dix assises au sommet. Son écorce, terminée par deux initiales, a huit assises à la base, où se fait le raccord des endodermes. Son cylindre central a une initiale au sommet.

Dans le *Chrysosplenium alternifolium*, la tige produit au nœud deux racines latérales, de part et d'autre de la feuille.

A ce niveau, l'écorce a dix assises, dont la dernière est un endoderme à cellules tabulaires portant des plissements rapportés de la face interne. Le cylindre central a un péricycle simple et quatre faisceaux autour de la moelle, un gros pour la feuille, un plus petit opposé pour la feuille suivante, et deux latéraux dédoublés. L'arc rhizogène est situé en face du rayon qui sépare le faisceau foliaire des deux latéraux. Il ne comprend que quatre ou cinq cellules; aussi la racine est-elle étroite. Ces cellules s'accroissent radialement, puis se cloisonnent deux fois tangentiellement pour donner les trois régions de la racine et l'épistèle. L'endoderme suit la croissance du mamelon et se divise radialement en formant une poche digestive simple. A la sortie, l'épiderme de la racine est encore simple dans toute son étendue, ou vient seulement de se dédoubler au sommet même. Son écorce, terminée par deux initiales, a cinq assises à la base, où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Son cylindre central a une initiale au sommet.

M. Lemaire a décrit le développement des racines latérales dans le *Chrysosplenium oppositifolium*, où, à cause de la disposition opposée des feuilles, elles se forment par quatre à chaque nœud (*loc. cit.*, p. 51). Ses observations sont de tout point conformes à celles que nous avons faites sur le *Ch. alternifolium*.

Philadelphées. — Dans le *Deutzia gracilis*, les racines se forment par quatre aux nœuds, rapprochées deux par deux dans les intervalles des deux feuilles opposées. Elles naissent vis-à-vis des larges faisceaux libéroligneux qui occupent les côtés de la tige, aux dépens de l'assise externe du péricycle double, mais avec contribution de l'assise interne et du parenchyme libérien sous-jacent pour constituer la base du cylindre central; elles sont enveloppées d'une poche endodermique simple.

Lythracées. — Les Lythracées, notamment les *Cuphea*,

produisent des racines latérales sur la région inférieure hypocotylée de leur tige. Elles s'y forment dans le péricycle simple, comme il a été dit pour les radicelles (p. 206), et s'y disposent en face des rayons qui séparent les quatre faisceaux libéroligneux, rayons occupés, dans la racine terminale, par les faisceaux ligneux primaires. Elles sont donc situées en quatre rangées, qui continuent celles des radicelles primaires dans la racine terminale.

Œnothéracées (pl. XXX, fig. 449-452). — Les Œnothéracées (*Œnothera*, *Epilobium*, etc.) produisent, dans leur tige hypocotylée quaternaire, des racines latérales qui y naissent dans le péricycle unisérié, avec poche endodermique simple, et y sont disposées en quatre rangées longitudinales, comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 207).

En outre, ces plantes forment souvent des racines latérales aux nœuds de leur tige adulte. La tige de l'*Epilobium lanceolatum*, par exemple, produit des racines latérales par quatre à chaque nœud, une de chaque côté des deux feuilles opposées. A ce niveau, elle a sous l'épiderme une vingtaine d'assises corticales, dont la première est un exoderme très différencié et la dernière un endoderme à cellules aplaties et plissées. Le cylindre central a, autour de la moelle, un anneau libéroligneux continu, pourvu de liber interne; les tubes criblés les plus externes laissent une seule assise entre eux et l'endoderme; le péricycle doit donc être considéré comme simple tout autour. Là où les tubes criblés externes sont séparés de l'endoderme par deux ou trois rangs de cellules, la seconde et la troisième assise doivent être regardées comme étant de même nature que celles qui séparent latéralement et radialement les tubes criblés les uns des autres, c'est-à-dire comme du parenchyme libérien.

L'arc rhizogène péricyclique accroît radialement ses cellules et les cloisonne à deux reprises tangentiellement, pour séparer les trois régions de la racine avec leurs initiales. En même temps, les cellules du parenchyme libérien sous-jacent,

qu'elles soient directement en contact avec le péricycle, ou qu'elles en soient séparées par de petits paquets de tubes criblés, s'agrandissent en tous sens et se cloisonnent, mais elles ne produisent que la base du cylindre central, base dans laquelle on distingue souvent çà et là des tubes criblés écrasés et incorporés. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et enveloppe le mamelon d'une poche digestive, qui demeure simple jusqu'à la sortie; elle est alors digérée tout autour de la base. A ce moment, l'épiderme de la racine a pris quatre cloisons tangentielles et est devenu quintuple au sommet. Son écorce, terminée par deux initiales, compte neuf assises à la base, où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Son cylindre central a une initiale au sommet.

Même disposition et même mode de formation des racines latérales dans l'*Epilobium tetragonum* et dans l'*E. hirsutum*.

M. Lemaire a étudié aussi l'origine des racines latérales dans l'*Epilobium tetragonum* (*loc. cit.*, p. 39). Nos observations diffèrent des siennes en deux points. Suivant lui, le péricycle y est double ou triple; pour nous il est simple. Suivant lui, l'assise externe du péricycle ne donne que l'écorce et l'épiderme; c'est la seconde et la troisième assises qui produisent le cylindre central; pour nous la racine dérive tout entière de l'unique assise péricyclique, les assises plus profondes contribuant seulement à en former la base.

La tige du *Trapa natans* produit d'abord, à chaque nœud, deux racines de part et d'autre de la feuille; plus tard, il s'en fait d'autres à partir des premières. A ce niveau, l'épaisse écorce, creusée, comme on sait, de grandes lacunes aérifères, se termine en dedans par un endoderme plissé. Le cylindre central a un péricycle simple et un anneau libéroligneux continu, à double liber formé de très larges tubes criblés, autour d'une moelle compacte. L'arc péricyclique rhizogène accroît radialement ses cellules et les divise tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions de la racine (fig. 452). En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules,

les cloisonne radialement, et forme autour du mamelon une poche simple, qui persiste jusqu'à la sortie, où elle est digérée tout autour de la base. A ce moment, après qu'elle a ainsi digéré toute l'écorce, la racine a un épiderme sextuple, dont toutes les assises sont séparées très près de la base, les trois externes ayant même déjà leur bord libre. Son écorce, terminée par deux initiales, a une dizaine d'assises à la base, où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Son cylindre central a une seule initiale au sommet.

La tige de l'*Isnardia palustris* produit quatre racines à chaque nœud, une de chaque côté des deux feuilles opposées; celle du *Jussiæa grandiflora* en forme deux à chaque nœud, de part et d'autre des feuilles isolées. Dans l'une et l'autre plante, les racines naissent à droite et à gauche du faisceau foliaire, au dos des deux faisceaux voisins, aux dépens du péricycle simple et suivant la règle ordinaire. L'endoderme forme autour d'elle une poche simple, plus tard digérée au-dessus de la base. A la sortie, l'épiderme est quadruple au sommet; l'écorce, terminée par deux initiales, accompagnées de chaque côté par un segment indivis dans l'*Isnardia palustris*, a quatre assises à la base; le cylindre central a une seule initiale.

Ce *Circæa lutetiana* produit des racines aux nœuds de ses tiges rampantes; elles s'y forment par quatre, une de chaque côté des deux feuilles opposées. A ce niveau, la tige a, sous son épiderme, seize à dix-huit assises corticales, dont l'interne est un endoderme à grandes cellules, munies de plissements étroits rapprochés de la face interne. Le cylindre central a un anneau libéroligneux continu à deux libers, autour d'une large moelle; entre les tubes criblés les plus externes et l'endoderme, il n'y a qu'un rang de cellules, remplies de grains d'amidon et à parois plus fermes que celles de l'endoderme; le péricycle est donc simple. Dans les points de la circonférence où les tubes criblés sont séparés de l'endoderme par deux ou trois assises, les cellules de la seconde et de la troisième assise appartiennent au parenchyme libérien, au même titre que leurs voisines qui

séparent les petits îlots criblés dans le sens du rayon ; comme elles, elles ont les parois molles et sont dépourvues d'amidon.

Or l'arc rhizogène est constitué précisément par un certain nombre de ces cellules du second rang, à parois molles, ici en contact avec le péricycle, là séparées de lui par un petit îlot criblé, qui rend incontestable leur nature libérienne (fig. 449). Ces cellules s'accroissent radialement en repoussant les tubles criblés, s'il y a lieu, et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions de la racine (fig. 450) ; les cellules du troisième rang, séparées ou non de celles du second par des tubes criblés, s'accroissent aussi et se cloisonnent, mais ne produisent que la base du cylindre central. L'arc rhizogène est donc emprunté ici essentiellement au rang externe du parenchyme libérien. En même temps, les cellules du péricycle se dilatent et même se divisent par des cloisons radiales, de manière à envelopper la racine d'une poche, qui digère d'abord l'endoderme, puis toutes les assises corticales de la tige, et enfin l'épiderme (fig. 451). Entre cette poche et le contour de la racine, on trouve, çà et là, un petit paquet de tubes criblés écrasés, témoin irrécusable de l'origine libérienne de l'organe (fig. 450)

A la sortie, sous la poche qui est à ce moment digérée autour de la base (fig. 451), l'épiderme de la racine a pris quatre cloisons tangentielles et est quintuple autour de l'extrémité. Son écorce, terminée par une grande initiale tabulaire, a, sur les flancs, six assises dont la seconde renferme déjà des paquets de raphides très près du sommet ; elle va se rétrécissant vers la base, où se fait le raccord des endodermes. Le cylindre central a une initiale au sommet.

Même disposition et même formation des racines latérales dans le *Circæa mollis* et dans le *C. alpina*.

Les *Circæa* nous apportent donc un nouvel exemple de racines latérales tardives, moins tardives pourtant que dans les *Viola ;* elles naissent, en effet, assez tard pour que le péricycle ait perdu, en durcissant ses membranes et en se bourrant d'amidon, sa faculté rhizogène, mais assez tôt pour qu'il

n'ait pas encore perdu la faculté de dilater ses cellules tangentiellement, de les cloisonner radialement et de sécréter les sucs digestifs nécessaires à la dissolution de l'écorce. Aussi y a-t-il ici une poche digestive, tandis qu'il n'y en a ordinairement pas chez les *Viola*.

M. Lemaire a décrit en détail la formation des racines latérales du *Circæa lutetiana* (*loc. cit.*, p. 40). Ses observations sont conformes aux nôtres, sauf sur un point, à notre avis essentiel. M. Lemaire admet que le péricycle de cette plante est triple et que c'est dans la seconde et la troisième assises de ce péricycle que la racine se forme, la première demeurant inactive dans le phénomène et se bornant à former ce que l'auteur appelle « l'assise superficielle de la coiffe ». Ce serait, chez les Dicotylédones, le seul exemple d'un péricycle qui ne serait rhizogène que dans sa seconde assise. Nos recherches nous conduisent, on l'a vu, à une interprétation toute différente des mêmes faits et nous obligent à détacher les racines des *Circæa* de la catégorie des racines précoces, pour les rattacher à celle des racines tardives. Nul doute, d'ailleurs, si M. Lemaire avait aperçu les tubes criblés que l'on rencontre souvent compris entre la racine et la poche péricyclique, qu'il n'eût conclu comme nous à l'origine libérienne de l'organe. Les *Circæa* seraient devenus alors pour lui les représentants d'un cinquième type de formation des racines endogènes.

Haloragées (pl. XXX, fig. 453-454). — Dans l'*Hippuris vulgaris*, les racines latérales naissent aux nœuds de la tige souterraine, en alternance avec les feuilles verticillées. Elles se forment dans le péricycle unisérié, suivant la règle ordinaire, avec une épistèle très développée. L'endoderme les enveloppe d'une poche digestive simple, plus tard incorporée autour de la base de l'épistèle et digérée plus haut. En traversant l'écorce lacuneuse, elles en refoulent parfois un peu les murs unisériés, dont les cellules paraissent opposer une certaine résistance à la digestion. A la sortie, l'épiderme de la racine

est quadruple au sommet; son écorce, terminée par une initiale accompagnée souvent d'un segment indivis, à six assises sur les flancs, puis se rétrécit à la base, où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central a une initale au sommet.

M. Lemaire a étudié en détail la formation des racines de cette plante (*loc. cit.*, p. 28). Nos observations étant conformes aux siennes, nous ne nous y arrêterons pas plus longtemps, mais nous décrirons le phénomène dans une autre Haloragée, le *Myriophyllum verticillatum*.

Les racines latérales de cette plante naissent aux nœuds, en alternance avec les feuilles. A ce niveau, la tige a une épaisse écorce, creusée dans sa région interne d'un cercle de grandes lacunes aérifères, dont les murs rayonnants plurisériés sont hérissés de cellules cristalligènes à mâcles radiées; cette écorce est terminée par un endoderme à cellules tabulaires, munies de plissements rapprochés de la face interne. Le cylindre central étroit a un péricycle simple et des faisceaux libéroligneux très rapprochés autour d'une petite moelle.

L'arc péricyclique rhizogène, situé entre deux libers voisins, compte d'ordinaire six à huit cellules, parfois seulement trois, deux ou même une seule. Dans ce dernier cas, la cellule s'accroît tangentiellement et se partage d'abord en trois par deux cloisons radiales. Ses cellules s'accroissent radialement en refoulant vers l'intérieur la seconde assise et vers l'extérieur l'endoderme; puis elles se partagent par une cloison tangentielle qui sépare en dedans le cylindre central. Celui-ci se cloisonne et grandit rapidement; il fait déjà dans l'écorce une forte proéminence quand l'assise externe est encore indivise. La séparation de l'écorce et de l'endoderme est donc tardive. Elle s'opère enfin par une cloison tangentielle, mais seulement dans les cinq cellules du sommet, d'abord dans les inférieures, puis en remontant dans la terminale (fig. 453). Sur le flanc, les cellules demeurent indivises et constituent l'épistèle, ici très développée. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les divise par des cloisons radiales

fortement plissées comme les cloisons primitives, et forme autour du mamelon une poche digestive simple, plus tard incorporée à la base autour de l'épistèle, digérée plus haut par l'épaississement de l'écorce et entraînée en forme de bonnet (fig. 454).

A la sortie, l'épiderme de la racine a neuf assises autour du sommet, séparées très près l'une de l'autre à partir du point où il s'appuie sur l'épistèle. Son écorce, terminée par deux initiales accompagnées de chaque côté par un segment indivis, se cloisonne très rapidement à partir du sommet en direction centripète et compte bientôt treize assises; la première assise se divise à son tour deux fois en direction centripète, les autres demeurent simples. Plus bas, les assises corticales se continuent en se réduisant dans l'épistèle progressivement rétrécie qui occupe plus des deux tiers de la longueur de la racine, et à travers laquelle se fait, à la base, le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central a une initiale au sommet.

A diverses reprises, nous avons rencontré dans cette plante de jeunes radicelles arrêtées dans leur développement à l'état où l'écorce vient de se séparer de l'épiderme (fig. 454). L'arrêt de croissance y était accusé par ce fait que l'écorce, simple dans toute étendue, avait pris, sur les faces latérales et transverses de toutes ses cellules et jusqu'au sommet même, les plissements subérifiés caractéristiques de l'endoderme. Comme la poche digestive porte aussi des plissements, autour du cylindre central de ces jeunes racines on trouvait, de dedans en dehors, une assise plissée (l'écorce), une assise non plissée (l'épiderme), puis de nouveau une assise plissée (la poche).

Enfin, nous avons encore étudié dans cette famille l'origine des racines latérales dans les *Gunnera*, à cause de l'intérêt particulier que donne à ces plantes la polystélie de leur tige (1). Dans le *Gunnera chilensis*, par exemple, la racine

(1) Ph. Van Tieghem et H. Douliot, *Sur la polystélie* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, III. p. 279, 1886).

naît en face d'un intervalle entre deux stèles voisines, sur une branche anastomotique, et s'insère à la fois sur les deux stèles voisines. Elle se forme tout entière au dépens du péricycle simple, qui occupe la face externe de cette branche (1). Autour d'elle, l'endoderme se développe et l'entoure d'une poche digestive.

Ombellifères (pl. XXX, p. 455). — Sur la région inférieure de leur tige hypocotylée, qui conserve la structure binaire du pivot, les Ombellifères produisent des racines latérales qui naissent dans le péricycle unisérié et y sont disposées en quatre séries, comme il a été dit pour les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 216, fig. 221).

Plusieurs de ces plantes produisent aussi des racines aux nœuds de leur tige adulte. L'*Hydrocotyle moschata*, par exemple, forme d'abord deux, puis quatre, enfin six racines au nœud, trois de chaque côté de la feuille. A ce niveau, la tige a, sous l'épiderme, huit à dix assises corticales dépourvues de canaux sécréteurs, dont la dernière est un endoderme à grandes cellules, munies de courts plissements peu marqués et rapprochés de la face interne. Le cylindre central a six faisceaux libéroligneux, un pour la feuille prochaine, un vis-à-vis et deux de chaque côté, autour d'une moelle sans canaux sécréteurs. En dehors des faisceaux, le péricycle a quatre assises et renferme un canal oléifère, entaillé dans son bord externe. Les arcs rhizogènes sont situés en face des six rayons. Là, les cellules péricycliques du rang externe s'accroissent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions de la racine et l'épistèle. L'endoderme se développe autour du mamelon et l'entoure d'une poche digestive simple, plus tard incorporée à la base et détachée par glissement un peu plus haut (fig. 455). A la sortie, l'épiderme de la racine a quatre assises au sommet; son écorce,

(1) Au début de ces recherches, nous avions admis que le cylindre central seul de la racine provient du péricycle, l'écorce et l'épiderme étant formés par l'écorce interne de la tige (*loc. cit.*, p. 311). Ce point est à rectifier.

terminée par une paire d'initiales, en a six à la base, où se fait, à travers l'épistèle, le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central a une initiale au sommet.

Même formation des racines, au nombre de cinq à chaque nœud, dans la tige de l'*Helosciadium repens*. Cette tige a cinq faisceaux libéroligneux, munis chacun d'un canal sécréteur péricyclique, et c'est en face des cinq rayons que les racines se développent, aux dépens de l'assise externe du rayon, suivant la règle ordinaire. Il en est de même encore dans la tige du *Sium angustifolium*, mais avec un plus grand nombre de faisceaux et de racines en face des rayons. Ces deux plantes diffèrent de l'*Hydrocotyle* par la présence de canaux sécréteurs corticaux.

Araliées. — Les racines latérales de l'*Hedera Helix* naissent, en face des rayons médullaires, par la croissance et le cloisonnement de l'assise externe du cylindre central de la tige; la seconde et la troisième assise s'accroissent aussi, mais ne produisent que la base du cylindre central de la racine; l'endoderme se développe tout autour en une poche digestive simple.

M. Lemaire ayant décrit en détail l'origine des racines-crampons dans l'*Hedera reticulata* et nos observations étant conformes aux siennes, nous n'y insisterons pas.

V. — GAMOPÉTALES SUPÉROVARIÉES.

Primulacées (pl. XXX, fig. 456-457). — Les Primulacées (*Primula officinalis*, *Auricula ursi*, etc.) forment sur leur tige hypocotylée binaire des racines qui y naissent dans le péricycle simple, s'y disposent en quatre rangées et s'y trouvent construites au moment de la sortie, comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 228).

Ces plantes produisent aussi plus tard des racines sur les portions souterraines ou rampantes de leur tige adulte.

La tige rampante du *Lysimachia Nummularia*, par exemple, forme à chaque nœud quatre racines, une de part et d'autre de chacune des deux feuilles opposées. A ce niveau, la tige a, sous l'épiderme, une écorce de douze à quinze assises, creusée çà et là dans sa zone externe de poches sécrétrices et terminée en dedans par un endoderme à cellules tabulaires, munies de courts plissements rapprochés de la face interne. Le cylindre central, de forme elliptique, a autour de la moelle deux larges faisceaux libéroligneux aux extrémités du grand axe, destinés aux feuilles du nœud, deux petits faisceaux aux extrémités du petit axe et quatre autres un peu plus grands, alternes avec les premiers, mais en contact avec les foliaires. Ces faisceaux sont surtout distincts par leurs libers, car leurs bois forment un anneau presque continu. Les tubes criblés les plus externes ne sont séparés de l'endoderme que par un rang de cellules.

C'est dans ce péricycle simple, vis-à-vis des intervalles entre le liber des faisceaux du petit axe et celui des faisceaux voisins, que se différencient les arcs rhizogènes. Les quatre ou cinq cellules qui composent chacun d'eux s'accroissent radialement, puis se cloisonnent deux fois tangentiellement pour former les trois régions de la racine et l'épistèle. L'arc d'endoderme superposé dilate d'abord ses cellules, puis les divise par des cloisons radiales, pour envelopper le mamelon d'une poche digestive simple, plus tard résorbée autour de la base et entraînée en forme de bonnet. A la sortie, l'épiderme de la racine a pris trois assises au sommet; son écorce, terminée par deux initiales, a six assises à la base, où se fait le raccord des endodermes. Son cylindre central a une initiale.

La tige du *Samolus Valerandi* a une épaisse écorce, dont la zone interne a ses cellules aplaties disposées en séries radiales, et se termine par un endoderme plissé. Le cylindre central a autour de la moelle un anneau libéroligneux continu, s'ouvrant à chaque nœud pour le départ du faisceau foliaire. Les petits groupes libériens sont séparés de l'endoderme ordinairement par deux rangs de cellules péricycliques, çà et là seulement par un seul rang. C'est de part et d'autre du faisceau

foliaire en voie de sortie que se dispose l'arc rhizogène. Les cellules de l'assise péricyclique externe qui le composent s'allongent radialement et se partagent par deux cloisons tangentielles successives, qui séparent les trois régions de la racine et l'épistèle. Les cellules du second rang grandissent aussi et se cloisonnent, mais ne produisent que la base du cylindre central. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les divise par des cloisons radiales et enveloppe la racine d'une poche digestive simple. De bonne heure, cette poche est digérée autour de la base et entraînée au sommet en forme de bonnet. Bien avant la sortie, l'épiderme de la racine a pris quatre assises autour de l'extrémité; son écorce, terminée par deux initiales avec deux segments indivis, a cinq assises sur les flancs et s'amincit à la base, où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central, qui est très large, a une initiale au sommet.

La tige du *Primula officinalis* produit aussi ses racines dans son assise péricyclique externe et suivant le mode ordinaire. Mais ici, il y a constitution préalable dans le péricycle d'un réseau libéroligneux sur lequel se fait l'insertion de la racine, réseau indiqué par M. Trécul dès l'année 1846 (1), étudié plus tard, en 1875, par M. Kamienski (2). En outre, non seulement l'endoderme, mais encore plusieurs des assises corticales internes, dont les cellules aplaties sont superposées à celles de l'endoderme, se dilatent pour former la poche digestive, poche bientôt digérée autour de la base par l'élargissement de l'écorce de la racine et entraînée en forme de bonnet à son sommet. Enfin l'épiderme de la racine est remarquable par son cloisonnement tardif, qui ne s'opère que très près du sommet. M. Lemaire ayant décrit en détail la formation des racines latérales dans le *Primula elatior* (*loc. cit.*,

(1) Trécul, *Recherches sur l'origine des racines* (*Ann. des sc. nat.*, 3ᵉ série, V, p. 348, 1846).

(2) Kamienski, *Zur vergleichende Anatomie der Primeln* (*Inaug. diss.*, Strasbourg, 1875).

p. 32) et nos observations étant conformes aux siennes, nous ne nous arrêterons pas davantage sur les *Primula*. Mais nous étudierons sous ce rapport les *Auricula*, dont la tige est, comme on sait, polystélique et où, pour cette raison, le phénomène présente un intérêt particulier (1).

La tige de l'*Auricula ursi* (*Primula Auricula* L.), par exemple, renferme un grand nombre de stèles disséminées. C'est sur la face extérieure d'une de ses stèles externes, préalablement élargie tangentiellement par sa fusion latérale avec une stèle voisine, que la racine prend naissance (fig. 456). De ce côté, le liber est séparé de l'endoderme par deux rangs de cellules, tandis que sur la face interne il est, en bien des points, en contact avec l'endoderme. En d'autres termes, le péricycle est double en dehors, nul en dedans. L'arc rhizogène occupe presque toute la largeur de la stèle. Les cellules du rang externe s'allongent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent d'abord les trois régions de la racine. Après quoi l'assise interne se divise très rapidement pour former un large cylindre central. En même temps, l'assise moyenne se cloisonne vivement sur les flancs, de manière à produire un bourrelet qui rend concave la face supérieure de l'écorce. Dans cette concavité, l'épiderme ne se cloisonne qu'assez lentement, de sorte que pendant un certain temps l'extrémité de la racine est concave (fig. 457).

L'arc d'endoderme superposé cloisonne tangentiellement trois ou quatre fois toutes ses cellules et enveloppe le large mamelon d'une poche digestive quadruple ou quintuple dans toute son étendue. Mais bientôt cette poche est entamée latéralement tout autour par la formation du bourrelet cortical de la racine, qui en digère toute l'épaisseur et pénètre dans l'écorce après l'avoir traversée. Elle se réduit alors à un anneau basilaire incorporé autour de l'épistèle et à un bonnet de forme lenticulaire logé dans la concavité du sommet de la

(1) Ph. Van Tieghem, *Structure de la tige des Primevères* (*Bull. de la Soc. bot.*, XXXIII, p. 95, 1886). — Ph. Van Tieghem et H. Douliot, *Sur la polystélie* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, III, p. 302, 1886).

racine, bonnet dont la nature endodermique est attestée par les marques noires que porte son assise interne (fig. 457). Plus tard, le sommet de la racine devient convexe en dehors et imprime sa forme au petit bonnet digestif qui le recouvre.

Avant la sortie, l'épiderme de la racine a pris à l'extrémité six cloisons tangentielles, dont la première s'est formée très près du sommet, de sorte qu'il est simple sur tout le côté. Son écorce, terminée par deux initiales, se divise très rapidement et compte plus de vingt assises sur les flancs; elle s'amincit ensuite vers la base, où s'opère, par les cellules triplissées, le raccord des deux endodermes. Son cylindre central, très large, a une initiale au sommet.

La seconde assise péricyclique accroît aussi et cloisonne ses cellules, mais c'est seulement pour produire un petit réseau libéroligneux, étendu sur toute la face externe de la stèle, et sur lequel à son tour s'insère plus tard le système libéroligneux de la racine.

En somme, malgré la structure polystélique de la tige, les racines latérales des *Auricula* se forment comme celles des *Primula.*

Solanées. — Les Solanées (*Solanum guineense*, *Lycopersicum esculentum*, *Capsicum annuum*, *Datura metel*, *Petunia violacea*, *Nicandra physalodes*, etc.) produisent des racines dans leur tige hypocotylée binaire. Ces racines y naissent, dans le péricycle simple, de la même manière que les radicelles primaires dans la racine terminale. Elles s'y disposent aussi aux mêmes places, et toutes ensemble forment quatre séries, qui continuent les quatre séries des radicelles primaires (p. 235, fig. 240). Elles ont enfin la même structure au moment de la sortie. Il n'y a donc pas lieu d'y insister.

Les jeunes rameaux issus de la germination des tubercules de *Solanum tuberosum* forment aussi de nombreuses racines. Un de ces rameaux a, sous l'épiderme, une dizaine d'assises corticales, dont la dernière est un endoderme à courts plissements. Le cylindre central a autour de la moelle un anneau

libéroligneux continu à deux libers, dont les tubes criblés les plus externes ne sont séparés de l'endoderme que par une assise. Çà et là un certain nombre de cellules de cette assise forment un arc rhizogène; elles s'accroissent radialement et se divisent tangentiellement deux fois pour séparer les trois régions de la racine et l'épistèle. Les cellules sous-jacentes du parenchyme libérien, tantôt directement en contact avec les premières, tantôt séparées d'elles par un îlot criblé qui s'écrase, s'accroissent aussi et se cloisonnent, mais elles contribuent seulement à former la base du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules et enveloppe la racine d'une poche digestive, simple à la base, double autour de l'extrémité. A la sortie, l'épiderme de la racine a pris huit assises au sommet. Son écorce, terminée par deux initiales aplaties, s'est divisée huit fois à la base, où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées.

Borraginées. — Les Borraginées (*Borrago officinalis*, *Echium strictum*, etc.) produisent des racines dans la région inférieure de leur tige hypocotylée binaire. Elles y naissent dans le péricycle simple et s'y disposent en quatre rangs, comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 238). Il n'y a donc pas lieu de s'y arrêter.

Plusieurs de ces plantes forment en outre des racines aux nœuds de leur tige rampante adulte. Dans le *Myosotis palustris*, par exemple, il se fait à chaque nœud deux racines de part et d'autre de la feuille. A ce niveau, outre le faisceau foliaire en voie de sortie, la tige a sept faisceaux libéroligneux, séparés de l'endoderme par un péricycle simple. C'est vis-à-vis de l'intervalle entre le faisceau voisin du foliaire et le faisceau suivant que naît de chaque côté la racine. L'assise externe, péricyclique, du rayon se cloisonne deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions avec leurs initiales, et le mamelon ainsi formé est enveloppé par une poche endodermique simple, plus tard digérée tout autour de la base.

Hydrophyllées. — Les Hydrophyllées (*Nemophila discoidalis, maculata*, etc.) forment des racines latérales dans la région inférieure de leur tige hypocotylée binaire. Ces racines y naissent dans le péricycle simple et s'y disposent en quatre séries, comme il a été expliqué pour les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 239) ; nous n'y reviendrons pas.

Polémoniées (pl. XXX, fig. 458). — Les Polémoniées (*Gilia achillæfolia, Bonplandia geminiflora*, etc.) produisent, dans leur tige hypocotylée binaire, des racines latérales qui y naissent dans le péricycle simple et s'y disposent comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 240).

Plusieurs de ces plantes forment aussi des racines sur la portion rampante de leur tige adulte. Dans le *Polemonium cæruleum*, par exemple, la tige a, sous l'épiderme, une dizaine d'assises corticales dont la dernière est un endoderme à plissements très marqués, souvent dédoublé tangentiellement en dehors des plissements. Le cylindre central a, autour de la moelle, un anneau libéroligneux continu offrant cinq renflements ligneux qui correspondent aux cinq faisceaux primitifs. Les tubes criblés les plus externes ne sont séparés de l'endoderme que par une seule assise de cellules ; le péricycle est donc simple. Dans les points où les tubes criblés sont séparés de l'endoderme par deux rangs de cellules, le rang interne doit être considéré comme parenchyme libérien.

C'est en face des renflements de l'anneau libéroligneux, c'est-à-dire des faisceaux primitifs, que les racines prennent naissance. Les cellules péricycliques, au nombre de six environ, s'agrandissent en tous sens, mais surtout radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent d'abord vers l'intérieur la périphérie du cylindre central avec son initiale, puis en dehors l'écorce et l'épiderme (fig. 458). L'assise sous-jacente, directement en contact avec le péricycle ou séparée de lui par quelques îlots libériens écrasés, suivant les points, accroît aussi ses cellules et les cloisonne, mais ne produit que la base du cylindre central. En même temps, l'endo-

derme dilate ses cellules et les cloisonne radialement, de manière à envelopper la racine d'une poche digestive double, dans les points où l'endoderme était au préalable dédoublé, simple dans les autres, poche qui est plus tard digérée autour de la base. A la sortie, l'épiderme de la racine a au moins quatorze assises au sommet. Son écorce, terminée par une seule initiale, a une quinzaine d'assises à la base, où se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central a une initiale au sommet.

M. Lemaire a étudié l'origine des racines latérales dans le *Polemonium reptans* (*loc. cit.*, p. 35). Ses observations sont en désaccord avec les nôtres sur deux points importants. En premier lieu, l'auteur admet que le péricycle de la tige est constitué par deux assises, à chacune desquelles est dévolu un rôle particulier, l'interne engendrant le cylindre central de la racine, l'externe produisant l'écorce, l'assise pilifère et la coiffe. Il reconnaît bien que le péricycle est simple en certains points (p. 36), mais il pense qu'il est toujours double à l'endroit où doit naître une racine. A notre avis, le péricycle est simple partout et produit toute la racine. Il y a bien, en effet, adjonction de la seconde assise de parenchyme, adjonction très fréquente ailleurs, comme on l'a vu; mais cette adjonction a lieu tout aussi bien si cette assise est séparée de la première par des tubes criblés que si elle est en contact avec elle, et elle contribue seulement à former la base du cylindre central.

En second lieu, M, Lemaire affirme qu'il existe, dans la racine en voie de sortie, entre le sommet du cylindre central et l'assise qui engendre l'assise pilifère et la coiffe, trois assises de cellules étendues parallèlement à la surface et qui sont les initiales de l'écorce. Dans des coupes parfaitement axiles, nous n'avons observé qu'une seule initiale pour l'écorce (fig. 458).

Convolvulacées. — Les Convolvulacées (*Convolvulus siculus*, etc.) forment, dans leur tige hypocotylée quaternaire,

des racines qui y naissent dans le péricycle simple, comme il a été dit pour les radicelles primaires dans la racine terminale. Elles y sont situées aux mêmes places, c'est-à-dire vis-à-vis des intervalles des quatre faisceaux libéroligneux, places qui demeurent quelque temps occupées par le vaisseau externe du faisceau ligneux primitif, en dedans duquel, dans la moelle, se constitue un îlot de liber interne. Elles continuent donc les quatre séries des radicelles primaires. Enfin, elles offrent la même structure au moment de la sortie (p. 241).

La tige des *Cuscuta* produit, comme on sait, des suçoirs qui naissent dans son intérieur, qui sont endogènes, et que, pour cela, on a regardés longtemps comme étant des racines latérales. Les recherches les plus récentes ont montré que ces organes ne sont pas des racines. Ce n'est donc pas à cette place, mais seulement plus loin, dans la troisième partie de ce Mémoire, qu'il en sera question.

Gentianées (pl. XXX, fig. 459). — La tige du *Menyanthes trifoliata* a une épaisse écorce lacuneuse à murs unisériés et réticulés, contenant des faisceaux libéroligneux, et terminée en dedans par un endoderme à petites cellules fortement plissées. Les faisceaux libéroligneux du cylindre central sont disposés autour d'une large moelle lacuneuse de même structure que l'écorce, et séparés de l'endoderme par un péricycle simple.

C'est en face des rayons que naissent les racines. Les cellules externes, péricycliques, du rayon se cloisonnent tangentiellement deux fois, suivant la règle ordinaire, pour séparer les trois régions de la racine; les cellules sous-jacentes ne forment que la base du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé se développe autour du mamelon en une poche digestive simple dans toute son étendue (fig. 459). Bien avant la sortie, l'épiderme de la racine a déjà huit à dix assises au sommet, et son écorce, terminée par une paire d'initiales, a dix-huit à vingt assises sur les flancs. A la base, la racine est rétrécie, et cette région étroite est continue avec la zone corti-

cale interne, ce qui est dû à l'épaississement de cette zone après la naissance de la racine.

Apocynées (pl. XXXI, fig. 460). — Sous une écorce épaisse et autour d'une large moelle, sillonnées toutes deux par de gros tubes laticifères ramifiés à parois épaisses, la tige de l'*Apocynum hypericifolium* a un anneau libéroligneux continu à deux libers; les tubes criblés les plus externes sont séparés de l'endoderme par un péricycle simple. C'est vis-à-vis des portions de l'anneau où le bois présente sa plus grande épaisseur, c'est-à-dire vis-à-vis des faisceaux primitifs, que se forment les racines.

Là, un arc péricyclique accroît radialement ses cellules, et les divise successivement par deux cloisons tangentielles pour séparer les trois régions de la racine. Les cellules du parenchyme libérien sous-jacent, séparées ou non des premières par des tubes criblés, s'agrandissent aussi et se cloisonnent, mais ne donnent que la région inférieure du cylindre central. En même temps, l'endoderme dilate ses cellules et les cloisonne d'abord radialement pour former une poche digestive simple; plus tard cette poche se divise tangentiellement autour de l'extrémité, et y prend trois ou quatre assises (fig. 460). A la sortie, l'épiderme de la racine a pris une dizaine d'assises au sommet. Son écorce, terminée par une initiale entre deux segments indivis, a aussi une dizaine d'assises sur le flanc, puis se réduit progressivement à la base, où se fait le raccord des endodermes. Son cylindre central a également une seule initiale au sommet.

La tige des *Vinca* (*V. major*, *V. minor*) produit à ses nœuds souterrains des racines latérales disposées par quatre, une de chaque côté des deux feuilles opposées. A ce niveau, la tige a quatre larges faisceaux libéroligneux à deux libers, alternes avec les quatre séries de feuilles, et dont les groupes libériens externes sont séparés de l'endoderme par une ou deux assises de cellules parenchymateuses formant le péricycle. C'est au dos de chacun de ces quatre faisceaux que naît une racine. Pour la

former, un arc de cellules appartenant à l'assise externe du péricycle, et qui correspond ordinairement à un intervalle entre deux groupes de tubes criblés, accroît ses cellules et les partage comme d'ordinaire, pour séparer les trois régions de la racine avec leurs initiales. Les cellules sous-jacentes du parenchyme libérien s'accroissent aussi et se cloisonnent en écartant et repoussant en dehors les paquets de tubes criblés, mais elles se bornent à constituer la région inférieure du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé dilate ses éléments et revêt la racine d'une poche digestive simple. A la sortie, l'épiderme de la racine a huit assises au sommet. Son écorce, terminée par deux initiales, a huit assises à la base, et son cylindre central a une initiale au sommet.

Quand elles sont suffisamment précoces, les racines des *Vinca* naissent donc tout entières dans le péricycle et suivant le mode normal. Il n'en est pas tout à fait ainsi lorsqu'elles sont plus tardives. C'est alors dans le parenchyme libérien situé sous le péricycle que s'établit l'arc rhizogène, et le péricycle est dilaté d'abord, puis digéré, ainsi que l'endoderme et le reste de l'écorce. Il n'y a pas, dans ce cas, de poche digestive, et les choses se passent comme il a été dit plus haut pour les racines également tardives des *Viola*.

Ce sont sans doute des racines tardives de ce genre qui ont fait l'objet des observations de M. Lemaire dans le *Vinca major* (*loc. cit.*, p. 70). L'auteur dit, en effet, que ces racines naissaient en dedans des îlots libériens primaires, aux dépens de cellules « qui font partie du cambium ». D'après lui, elles se forment de la même manière que celles des *Viola*. Aussi rattache-t-il les Apocynées avec les Violacées à son troisième type de formation. Nos observations diffèrent encore des siennes sur un autre point. Il admet, en effet, que l'écorce de la racine du *Vinca major* a, au sommet, plusieurs assises d'initiales (*loc. cit.*, p. 72); nous n'avons trouvé, dans cette racine, qu'une paire d'initiales, parfois accompagnées d'un segment indivis.

Scrofulariacées (pl. XXXI, fig. 461-463). — Les Scrofulariacées (*Verbascum Thapsus*, *Linaria bipartita*, *Veronica Buxbaumii*, *Collinsia bicolor*, *Paulownia imperialis*, etc.) produisant, dans la région inférieure de leur tige hypocotylée binaire, des racines qui y prennent naissance dans le péricycle simple, s'y disposent en quatre séries, et sont constituées à la sortie comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 248).

Plusieurs de ces plantes forment aussi des racines aux nœuds de leur tige rampante adulte. Dans le *Veronica officinalis*, par exemple, elles sont situées de part et d'autre des feuilles opposées. A ce niveau, la tige a, sous son endoderme plissé, un anneau libéroligneux continu dont les tubes criblés les plus externes sont séparés de l'endoderme par un seul rang de cellules. C'est dans ce péricycle simple que se différencie l'arc rhizogène. Ses cellules s'accroissent radialement, et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent d'abord le cylindre central, puis l'écorce et l'épiderme, avec l'épistèle. Les cellules sous-jacentes du parenchyme libérien, séparées des premières par des tubes criblés ou en contact avec elles, suivant les points, grandissent aussi et se cloisonnent, mais ne produisent que la base du cylindre central. L'endoderme de la tige suit le mamelon et l'enveloppe d'une poche digestive simple.

Même formation des racines par quatre à chaque nœud dans la tige du *Gratiola officinalis*. L'endoderme y forme aussi une poche simple, bientôt digérée autour de la base et entraînée en forme de petit bonnet (fig. 463).

La tige du *Linaria cymbalaria* a, sous l'endoderme formé de grandes cellules à plissements rapprochés du bord interne, un péricyle simple et un anneau libéroligneux où le bois est concentré en quatre ou cinq faisceaux. L'arc rhizogène est situé tantôt en face d'un de ces faisceaux ligneux, tantôt vis-à-vis d'un de leurs intervalles. Il comprend trois à six cellules, qui s'accroissent radialement, et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions de la

racine avec leurs initiales (fig 461). Les cellules sous-jacentes du parenchyme libérien grandissent aussi en refoulant les tubes criblés, mais contribuent seulement à former la base du cylindre central. L'arc d'endoderme superposé dilate ses grandes cellules et les divise par des cloisons radiales, çà et là aussi par des cloisons tangentielles ou obliques, de manière à envelopper les racines d'une poche simple, çà et là dédoublée, qui est plus tard digérée autour de la base (fig. 462). A la sortie, l'épiderme de la racine, simple sur les flancs, n'a pris que deux cloisons tangentielles. Son écorce, terminée par une initiale, compte quatre assises à la base, où se fait le raccord des endodermes. Son cylindre central a aussi une initiale au sommet.

M. Lemaire a décrit en détail la formation des racines latérales chez le *Veronica Beccabunga*, le *V. officinalis* et le *Mimulus luteus* (*loc. cit.*, p. 14). Nos observations sont d'accord avec les siennes, excepté en un seul point. Dans le *Mimulus luteus*, l'auteur admet qu'il y a au sommet de la racine deux assises d'initiales pour l'écorce. Dans cette plante, comme dans toutes les autres Scrofulariacées que nous avons étudiées, les coupes bien axiles ne nous ont jamais montré plus d'un seul rang d'initiales, se réduisant à deux cellules côte à côte.

Labiées. — Les Labiées (*Leonurus tataricus*, *Lophanthus chinensis*, *Ocimum basilicum*, *Stachys alpina*, *Marrubium leonuroides*, etc.) forment des racines dans la région inférieure de leur tige hypocotylée binaire. Ces racines y naissent dans le péricycle simple, s'y disposent en quatre séries et sont constituées, à la sortie, comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 250).

Bon nombre de ces plantes produisent, en outre, des racines aux nœuds de leur tige adulte, et ces racines y affectent, suivant les genres, plusieurs dispositions différentes. Il y en a, par exemple, deux à chaque nœud, tantôt superposées aux deux feuilles (*Mentha*, *Teucrium*, etc.), tantôt en croix avec

elles (*Brunella*, etc). Ou bien il y en a quatre à chaque nœud, tantôt de part et d'autre des deux feuilles, en correspondance avec les arêtes de la tige carrée (*Lamium*, *Lycopsis*, *Ajuga*, *Ballota*, etc.), tantôt deux au-dessous des feuilles et deux autres en croix avec elles, en correspondance avec les faces de la tige carrée (*Glechoma*, etc.).

Dans le *Glechoma hederacea*, par exemple, l'écorce de la tige compte, entre l'épiderme et l'endoderme, huit assises sur les faces, quatorze sur les angles dont les externes forment un faisceau de collenchyme. Le cylindre central a un péricycle simple, quatre faisceaux libéroligneux correspondant aux angles et quatre rayons correspondant aux faces. La racine naît vis-à-vis d'un rayon, dont l'assise périphérique se divise par deux cloisons tangentielles, qui séparent les trois régions avec leurs initiales. Les cellules de la seconde assise du rayon s'accroissent aussi et se cloisonnent, mais ne forment que la base du cylindre central. L'endoderme de la tige suit la croissance du mamelon et l'enveloppe d'une poche digestive simple, plus tard digérée à la base. A la sortie, l'épiderme de la racine a quatre assises au sommet; son écorce, terminée par une seule initiale, a huit assises à la base, où se fait le raccord des endodermes.

Dans le *Lamium album*, la racine se forme de la même manière, mais en correspondance avec un faisceau libéroligneux et non à côté de lui.

M. Lemaire a décrit en détail l'origine des racines latérales dans le *Mentha arvensis* (*loc. cit.*, p. 53), et signalé le *Glechoma hederacea* comme se comportant d'une manière analogue. Nos observations sont d'accord avec les siennes.

Gesnéracées. — Une bouture de tige de *Columnea Schiedeana* nous a permis de suivre la formation des racines latérales dans cette plante. Sous l'épiderme, bientôt remplacé par un périderme sous-épidermique, l'écorce compte environ quinze assises, dont la dernière est un endoderme à petits plissements rapprochés de la face interne. Le cylindre central

a, autour de la moelle, un anneau libéroligneux continu, séparé de l'endoderme par un péricycle simple, dans lequel çà et là une cellule se développe en fibre. Pour former une racine, un certain nombre de cellules du péricycle s'allongent radialement et se cloisonnent suivant la règle ordinaire. Les cellules du parenchyme libérien sous-jacent s'accroissent aussi, mais ne constituent que la base du cylindre central. L'endoderme se dilate autour du mamelon en une poche digestive simple. Ces racines de bouture naissent donc comme des racines latérales précoces ordinaires.

Plantaginées (pl. XXXI, fig. 464-465). — Les Plantaginées (*Plantago Lœflingii*, etc.) forment, dans la région inférieure de leur tige hypocotylée, des racines qui y naissent dans le péricycle simple, s'y disposent et sont constituées, au moment de la sortie, comme il a été dit (p. 255) pour les radicelles dans la racine terminale.

En outre, certaines de ces plantes produisent des racines sur leur tige adulte. Le *Littorella lacustris*, par exemple, en forme aux nœuds, à droite et à gauche de la feuille. A ce niveau, la tige a, sous l'épiderme, une épaisse écorce lacuneuse à murs unisériés, disposés en réseau, terminée en dedans par un endoderme à cellules tabulaires, munies de plissements contre la face interne. Le cylindre central a, autour de la moelle, un anneau libéroligneux continu ouvert en un point par le départ des faisceaux foliaires, séparé de l'endoderme par un péricycle simple. L'arc rhizogène comprend six à huit cellules péricycliques. Ces cellules s'allongent radialement, puis se cloisonnent deux fois tangentiellement pour produire les trois régions de la racine et l'épistèle (fig. 464). Les cellules sous-jacentes du parenchyme libérien ne s'accroissent presque pas; elles ne prennent que quelques cloisons pour établir plus tard le raccord du liber et du bois de la racine avec ceux de la tige. L'endoderme superposé dilate ses cellules, les cloisonne radialement et enveloppe la racine d'une poche digestive, plus tard résorbée au-dessus de la base

et entraînée sous forme de bonnet (fig. 465). Au moment où elle sort, après avoir traversé l'écorce obliquement vers le bas, la racine a un épiderme quadruple au sommet; son écorce, terminée par deux initiales entre deux segments indivis, a huit ou neuf assises sur les flancs; elle se réduit ensuite vers la base dans l'épistèle, à travers laquelle les endodermes se raccordent par les cellules triplissées.

VI. — GAMOPÉTALES INFÉROVARIÉES.

Campanulacées et *Lobéliées* (pl. XXXI, fig. 466). — Les Campanulacées (*Campanula Medium*, *pyramidalis*, etc.) et les Lobéliées (*Monopsis debilis*, etc.) forment dans leur tige hypocotylée binaire des racines qui y naissent dans le péricycle unisérié (fig. 466), avec poche endodermique simple, s'y disposent en quatre rangées et s'y trouvent constituées au moment de leur sortie, comme les radicelles primaires sur la racine terminale (p. 256 et 257, fig. 273 et 274).

Certaines de ces plantes produisent, en outre, des racines aux nœuds de leur tige adulte. Le *Lobelia Erinus*, par exemple, en forme deux à chaque nœud, de part et d'autre de la feuille. Le cylindre central contient un anneau libéroligneux complet, séparé de l'endoderme par un péricycle simple. L'arc rhizogène péricyclique se comporte comme d'ordinaire, et la racine est enveloppée d'une poche endodermique simple.

Cucurbitacées (pl. XXXI, fig. 467-468). — La tige hypocotylée des Cucurbitacées a quatre faisceaux libéroligneux autour d'une moelle, séparés de l'endoderme par autant de groupes fibreux provenant de la sclérose locale du péricycle, lequel demeure formé de grandes cellules à parois minces dans les intervalles, où il se continue avec le rayon. Cette région de la tige produit des racines, qui naissent dans l'assise externe, péricyclique, du rayon, par l'agrandissement et le double cloisonnement tangentiel des cellules de cette assise,

comme il a été expliqué par les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 258, fig. 276-283). Les cellules plus profondes du rayon s'accroissent ainsi, mais contribuent seulement à former la base du cylindre central et son insertion sur les faisceaux voisins.

Cette insertion et la disposition même des racines affectent, suivant les genres, deux manières d'être différentes. Si les rayons sont étroits, comme dans le *Citrullus valgaris*, par exemple, toutes les cellules péricycliques situées en face du rayon entrent dans l'arc rhizogène, la racine prend naissance vis-à-vis du rayon et s'insère également à droite et à gauche sur les deux faisceaux voisins; toutes ensemble, les racines hypocotylées sont disposées en quatre séries, qui continuent celles des radicelles primaires sur le pivot. Si les rayons sont très larges, comme dans le *Cucurbita maxima*, le *C. Pepo*, le *Lagenaria vulgaris*, etc., par exemple, l'arc péricyclique, partant toujours d'un des faisceaux fibreux, ne prend qu'une partie de la largeur du rayon, et la racine ne s'insère que d'un seul côté, sur le flanc du faisceau libéroligneux correspondant; toutes ensemble les racines hypocotylées forment alors huit rangées, rapprochées deux par deux du côté des rayons, et les choses s'y passent comme si les quatre rangées du cas précédent s'étaient dédoublées.

Dans l'un et l'autre cas, l'arc d'endoderme superposé à l'arc rhizogène accroît ses cellules et les cloisonne radialement et tangentiellement, de manière à envelopper la racine d'une poche digestive, dont l'épaisseur varie suivant les genres, comme il a été dit pour les radicelles primaires (p. 258 et suiv.). Dans une plante donnée, cette poche est ordinairement plus mince dans les racines hypocotylées que dans les radicelles primaires.

La tige rampante adulte de ces plantes produit aussi des racines aux nœuds, une de chaque côté de la feuille (*Cucurbita*, etc.) ou plusieurs en verticille (*Trichosanthes*, etc.). Dans le *Trichosanthes cucumerina*, par exemple, la tige possède à ce niveau douze faisceaux libéroligneux à deux libers,

six foliaires un peu plus externes et plus petits, six réparateurs un peu plus internes et plus grands. Sous l'endoderme, le péricycle forme, en dehors de chaque faisceau, un paquet fibreux le long duquel, latéralement et jusque sur sa face externe, remontent de petits fascicules criblés; il demeure formé de grandes cellules à parois minces vis-à-vis des rayons. L'arc rhizogène s'établit dans l'assise externe, péricyclique, d'un rayon, contre un faisceau foliaire, et compte quatre ou cinq cellules à partir du paquet fibreux superposé à ce faisceau.

Ces cellules prennent deux cloisons tangentielles successives, qui séparent les trois régions de la racine avec leurs initiales (fig. 467). Les cellules du rayon qui bordent le faisceau foliaire grandissent aussi et se cloisonnent, mais ne forment que la base du cylindre central, par où il s'attache au flanc du faisceau sur toute son épaisseur, y compris son liber interne. Le mamelon ainsi produit se dirige dans l'écorce en faisant un certain angle avec le rayon du faisceau voisin, et comme chacun des six faisceaux foliaires peut en porter de la sorte deux sur ses flancs, il peut y avoir au nœud douze racines verticillées correspondant, mais obliquement, aux douze rayons. Mais d'ordinaire toutes ne se développent pas.

L'arc d'endoderme superposé à l'arc rhizogène dilate ses cellules, les cloisonne radialement, et enveloppe le mamelon d'une poche d'abord simple, qui se dédouble plus tard au sommet; l'assise sus-endodermique dilate aussi ses éléments et les dédouble autour de l'extrémité, de sorte qu'au moment de la sortie la poche digestive, double sur des flancs de la racine, est quadruple au sommet (fig. 468). Sous cette poche, l'épiderme compte à ce moment quatre assises à l'extrémité; l'écorce, terminée par une paire d'initiales, en a également quatre à la base, où se fait le raccord des endodermes. Le cylindre central se termine par une initiale. Les trois régions de la racine sont d'ailleurs assez difficiles à distinguer.

Dans le *Cucurbita melanosperma*, la tige a dix faisceaux à deux libers, cinq plus extérieurs et cinq alternes plus inté-

rieurs. L'écorce est mince et ne compte que huit à dix assises, dont les externes sont collenchymateuses et dont la plus interne est un endoderme à plissements rapprochés du bord extérieur. Entre l'endoderme et le liber des faisceaux externes, le péricycle, très épais, compte, par exemple, quatorze assises dont les six externes, à cellules plus étroites, forment plus tard une couche fibreuse continue, tandis que les autres, à cellules plus larges, demeurent parenchymateuses; dans cette dernière cheminent çà et là de petits fascicules criblés. La racine apparaît à l'époque où l'assise péricyclique externe n'a pas encore pris les cloisons longitudinales qui divisent les grandes cellules en cellules plus étroites.

Un certain nombre de ces cellules situées vis-à-vis d'un rayon, mais latéralement du côté d'un des faisceaux externes, s'accroissent et constituent l'arc rhizogène. Puis elles se cloisonnent deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions de la racine avec leurs initiales. En même temps, toutes les cellules du péricycle situées entre l'arc rhizogène et le faisceau externe correspondant, comme aussi les cellules du rayon situées le long du flanc de ce faisceau, grandissent et se cloisonnent, pour former la base du cylindre central, par où il s'insère latéralement sur le faisceau. En dehors de l'arc rhizogène, non seulement l'endoderme, mais encore les deux ou trois assises internes de l'écorce, qui ne deviennent pas collenchymateuses, dilatent leurs éléments et les cloisonnent pour former autour du mamelon une poche digestive très épaisse dans toute son étendue. Pour les racines latérales, comme pour les radicelles (p. 258 et suiv.), on observe donc des différences notables d'un genre à l'autre dans l'épaisseur de la poche digestive.

Malgré sa grande épaisseur et sa complication de structure, le péricycle des Cucurbitacées produit donc les racines dans son assise externe, suivant la règle ordinaire. Lorsque deux racines se forment en même temps et au même niveau, sur les flancs en regard de deux faisceaux externes voisins, elles convergent dans le double rayon qui sépare ces faisceaux, par-

dessus le faisceau interne qui leur est interposé, et s'unissent en une racine double, plus grosse que les autres, exactement superposée à ce faisceau interne et qui se dirige à travers l'écorce dans la direction du rayon correspondant. De pareilles racines doubles ne sont pas rares dans les *Trichosanthes*, les *Cucurbita*, etc.

Rubiacées (pl. XXXI, fig. 469-474). — Les Rubiacées (*Galium Valantium*, *Sherardia arvensis*, *Richardsonia scabra*, *Cephalanthus occidentalis*, *Phyllis nobla*, etc.) produisent de bas en haut, dans leur tige hypocotylée binaire, des racines qui y naissent dans le péricycle unisérié, avec poche endodermique simple promptement digérée sur les flancs, de la même manière et aux mêmes places que les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 261). La fig. 469 montre une pareille racine dans le *Sherardia arvensis*.

Plusieurs de ces plantes forment aussi plus tard des racines sur la portion souterraine de leur tige adulte. L'*Asperula taurina*, par exemple, développe quatre racines au nœud, une de chaque côté des deux feuilles opposées. A ce niveau, la tige a une épaisse écorce, terminée par un endoderme à plissements rapprochés de la face interne. Le cylindre central a autour de la moelle un anneau libéroligneux continu, ouvert seulement pour le départ des deux faisceaux foliaires; les tubes criblés les plus externes ne sont séparés de l'endoderme que par une seule assise. L'arc rhizogène s'établit de chaque côté du faisceau foliaire en voie de sortie et comprend une dizaine de cellules de ce péricycle simple. Ces cellules s'allongent radialement et se divisent par deux cloisons tangentielles successives pour découper les trois régions de la racine (fig. 470). En même temps, les cellules sous-jacentes du parenchyme libérien, séparées des premières par des tubes criblés ou directement en contact avec elles, suivant les points de l'arc que l'on considère, s'accroissent aussi et se cloisonnent, en refoulant au dehors et écrasant les tubes criblés; les cellules plus profondes du parenchyme libérien font de même, écartant et écrasant les tubes

criblés qui les séparent de la première rangée; mais toutes ces cellules libériennes contribuent seulement à constituer la base du cylindre central de la racine (fig. 471).

L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise par des cloisons radiales, çà et là par une cloison tangentielle, de manière à envelopper la racine d'une poche digestive simple, plus tard résorbée autour de la base et soulevée en forme de bonnet. A la sortie, l'épiderme de la racine, simple sur les flancs, a pris cinq ou six assises au sommet. Son écorce, terminée par deux initiales, à sept ou huit assises à la base. Son cylindre central à une initiale au sommet. Dans la partie inférieure de la racine, on distingue nettement çà et là les tubes criblés écrasés, qui ont été entraînés assez haut par la croissance et le cloisonnement du parenchyme libérien (fig. 471).

Les racines latérales de l'*Asperula taurina* sont donc assez précoces pour naître au lieu ordinaire de production de ces membres, c'est-à-dire dans le péricycle. Il n'en est pas de même pour celles de l'*Asperula odorata*, qui sont d'ailleurs disposées de la même manière, par quatre aux nœuds de la tige souterraine. Le liber y est ordinairement séparé de l'endoderme plissé par trois assises de cellules; et pourtant, comme en bon nombre de points de l'anneau libéroligneux les tubes criblés les plus externes ne laissent qu'une cellule entre eux et l'endoderme, on doit regarder le péricycle comme simple et la seconde rangée de cellules comme appartenant déjà au parenchyme libérien. Peu importe d'ailleurs. Ce n'est dans aucune de ces deux assises que se différencie l'arc rhizogène. Il s'établit au-dessous des tubes criblés, s'il n'y en a qu'un rang au point considéré, au-dessous des tubes criblés les plus internes, s'il y en a deux rangs, dans l'assise de parenchyme libérien qui confine à l'assise génératrice du liber et du bois secondaires.

Un certain nombre de ces cellules s'accroissent radialement en repoussant vers le dehors les tubes criblés, le parenchyme libérien extérieur, le péricycle et l'endoderme. Puis elles prennent deux cloisons tangentielles successives et séparent

les trois régions de la racine (fig. 472). A mesure que le mamelon ainsi constitué s'allonge, l'endoderme, qui a d'abord suivi sa croissance, est digéré au sommet (fig. 473). L'assise externe du cylindre central, ou péricycle, est quelquefois résorbée aussi un peu plus tard; mais souvent elle persiste, dilate ses cellules, les cloisonne et contribue avec le parenchyme libérien sous-jacent, qui accroît aussi et cloisonne ses éléments, à envelopper la racine d'une poche digestive, épaisse de deux ou trois rangs, qui l'accompagne jusqu'à la sortie (fig. 474). Cette poche contient quelquefois dans son épaisseur de petits paquets de tubes criblés écrasés. Entre elle et l'épiderme de la racine, se trouvent compris aussi çà et là, latéralement et en dehors, les îlots libériens que le mamelon a refoulés et écrasés. L'assise génératrice du liber et du bois secondaires accroît en même temps et cloisonne ses cellules, mais c'est seulement pour former la base du cylindre central, par où s'établit le raccord du liber et du bois de la racine avec ceux de la tige (fig. 474).

En résumé, les racines de l'*Asperula odorata* naissent, comme celles des *Viola* et des *Circæa*, tout entières dans le parenchyme libérien et non dans le péricycle. Comme celles des *Viola*, elles se forment dans l'assise la plus interne du parenchyme libérien; elles en diffèrent en ce qu'elles sont munies d'une poche digestive. Ce caractère les rapproche de celles des *Circæa*, mais elles s'en éloignent parce que cette poche provient du parenchyme libérien en même temps que du péricycle. Ce sont aussi des racines tardives, moins que celles des *Viola*, plus que celles des *Circæa*, qu'il faut bien se garder d'assimiler aux racines précoces ordinaires, sous peine d'être forcé d'admettre que deux espèces d'un même genre, comme l'*Asperula taurina* et l'*A. odorata*, peuvent former leurs racines de même ordre suivant deux procédés tout à fait différents.

M. Lemaire a décrit en détail la formation des racines latérales aux nœuds de la tige souterraine de l'*Asperula odorata* (*loc. cit.*, p. 73). Ses résultats diffèrent des nôtres

en trois points importants. D'abord le péricycle aurait « une très grande épaisseur » et compterait trois ou quatre assises de cellules; pour nous, il est simple, ou tout au plus double. En second lieu, l'assise rhizogène serait le cambium, c'est-à-dire l'assise génératrice du liber et du bois secondaires; pour nous, elle appartient au parenchyme libérien primaire. En troisième lieu et surtout, cette assise ne produirait que le cylindre central; ce serait l'assise interne du péricycle, séparée de la première par des tubes criblés, qui donnerait l'écorce, l'assise pilifère et la coiffe. A notre avis, cette assise profonde engendre toute la racine; le parenchyme libérien extérieur à elle, avec les tubes criblés qu'il renferme, ne forme que la poche digestive; quant au péricycle proprement dit, il est souvent résorbé comme l'endoderme (1).

Ce mode de formation si particulier, où le cylindre central procéderait du cambium, tandis que l'écorce et l'épiderme dériveraient du péricycle, joint à l'idée que les racines de cette plante sont homologues de celles des autres plantes étudiées par lui, ont conduit M. Lemaire à regarder l'*Asperula odorata* et, en général, les Rubiacées, comme représentant un type nouveau, un quatrième type de formation endogène des racines. On vient de voir qu'il n'en est rien. Ces racines se développent simplement comme celles des *Viola* et des *Circæa;* et le caractère exceptionnel qu'elles partagent avec ces dernières plantes s'explique et disparaît comme tel, si l'on remarque qu'elles appartiennent à la catégorie des racines tardives, non à celles des racines précoces. L'exemple de l'*Asperula taurina* montre d'ailleurs que ce caractère n'appartient pas même à tous les *Asperula*.

(1) Nous avons observé quelquefois dans l'*Asperula odorata* de jeunes racines à la formation desquelles prenaient part deux assises de parenchyme libérien, savoir l'assise la plus interne et l'assise située en dehors d'elle entre deux îlots criblés; la première ne donnait que le cylindre central; la seconde, par une cloison tangentielle, séparait l'écorce et l'épiderme. C'est peut-être un cas de ce genre qu'a observé M. Lemaire. On a vu à diverses reprises que cette formation de la racine à l'aide de deux assises superposées pouvait se rencontrer accidentellement dans la même plante à côté du mode normal.

Valérianées. — Les Valérianées (*Centranthus ruber*, *Valerianella fallax*, etc.) forment dans la région inférieure de leur tige hypocotylée binaire des racines, qui y naissent dans le péricycle unisérié, s'y disposent en quatre séries rapprochées deux par deux et se trouvent construites au moment de la sortie, comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 262, fig. 288).

Certaines de ces plantes produisent en outre des racines aux nœuds de leur tige adulte. Dans les *Valeriana*, par exemple, elles y naissent par quatre, une de chaque côté des deux feuilles opposées. A ce niveau, la tige du *Valeriana officinalis* a, sous l'écorce terminée par un endoderme plissé, un péricycle double et douze faisceaux libéroligneux autour d'une moelle, six destinés aux deux feuilles et six réparateurs alternes. C'est en correspondance avec le faisceau réparateur voisin du foliaire médian que s'établit l'arc rhizogène. Les cellules péricycliques externes s'allongent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions de la racine et l'épistèle. L'endoderme suit la croissance du mamelon et le revêt d'une poche digestive simple.

M. Lemaire a décrit en détail la formation des racines dans la tige du *Valeriana dioica* (*loc. cit.*, p. 25). Nos observations sont conformes aux siennes, sauf en deux points. D'après lui, une fois le cylindre central séparé, « il est pour ainsi dire impossible d'apercevoir au début une limite entre l'écorce et la coiffe ; ce n'est qu'à un âge avancé que l'on peut saisir cette séparation » (*loc. cit.*, p. 27). De plus, les initiales de l'écorce sont disposées en deux assises. Nous avons vu au contraire l'écorce et l'épiderme distincts dès l'origine et constaté que, dans les coupes bien axiles, l'écorce n'a qu'un seul rang de deux initiales.

Dipsacées. — Les Dipsacées (*Dipsacus laciniatus*, etc.) produisent des racines sur leur tige hypocotylée binaire. Ces racines y naissent dans le péricycle unisérié, avec poche endo-

dermique simple, et s'y disposent en quatre séries rapprochées deux par deux, comme il a été dit pour les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 266, fig. 294). Elles ont aussi la même structure au moment de leur sortie.

Composées (pl. XXXI, fig. 475-476). — Les Composées produisent des racines dans leur tige hypocotylée. Ces racines y naissent dans le péricycle unisérié, avec poche endodermique simple ou multiple suivant les genres, et s'y disposent comme les radicelles primaires dans la racine terminale (p. 266 et suiv., fig. 294-299). Elles forment donc quatre séries rapprochées deux par deux du côté des cotylédons, si la racine terminale est binaire (*Tripteris cheiranthifolia*, *Callistephus sinensis*, *Spilanthes oleracea*, etc.), quatre séries équidistantes dont deux correspondent aux cotylédons, si elle est quaternaire (*Zinnia multiflora*, *Helianthus annuus*, etc.). Elles ont aussi la même structure à la sortie (fig. 475).

Certaines de ces plantes produisent aussi des racines dans les portions souterraines ou rampantes de leur tige adulte. Dans l'*Helianthus latiflorus*, par exemple, la tige a, sous une écorce creusée de canaux sécréteurs et limitée en dedans par un endoderme plissé, seize faisceaux libéroligneux en cercle autour d'une moelle également pourvue de canaux oléifères. En dehors des faisceaux, le péricycle est simple; c'est vis-à-vis d'un des larges rayons qui les séparent que se différencie l'arc rhizogène. Là, les cellules de l'assise externe du cylindre central s'allongent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions de la racine avec leurs initiales. Les cellules de la seconde et de la troisième assise du rayon s'agrandissent aussi et se divisent, mais ne forment que la portion inférieure, au début la plus considérable, du cylindre central, par où s'opèrent plus tard le raccord du liber et du bois de la racine avec le liber et le bois des deux faisceaux voisins. En même temps, l'endoderme dilate ses cellules et les cloisonne d'abord radialement pour envelopper le mamelon d'une poche digestive simple. Bientôt cette poche se

dédouble autour de l'extrémité; plus tard, elle prend une seconde cloison tangentielle et y devient triple.

Même formation des racines en face des rayons de la tige, mais avec poche digestive simple dans toute son étendue, dans le *Spilanthes oleracea* (fig. 476).

Pour ce qui est des Composées, M. Lemaire s'est borné à faire remarquer (*loc. cit.*, p. 47) que les racines latérales s'y forment en face des rayons médullaires, et à dire (p. 55) que l'*Hieracium Pilosella* se comporte essentiellement comme le *Mentha arvensis*, à cette différence près que l'endoderme caulinaire y prend une cloison tangentielle et forme une poche double.

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE DES DICOTYLÉDONES.

Des observations de M. Lemaire, rectifiées par nous en plusieurs points importants, comme il a été dit plus haut, et de nos propres recherches, étendues à soixante-sept familles de la classe, découlent en définitive des conclusions très simples, que l'on doit regarder comme s'appliquant aux racines endogènes de toutes les Dicotylédones.

Qu'elle naisse dans la tige hypocotylée ou dans une région quelconque de la tige adulte, que la structure de la tige dans la région considérée soit encore radicoïde, comme dans beaucoup de tiges hypocotylées binaires, ou déjà normale, qu'elle soit monostélique, polystélique ou astélique, qu'elle soit à l'état primaire ou déjà pourvue de liber et de bois secondaires, toutes les fois qu'elle est précoce, c'est-à-dire qu'elle se forme avant que le péricycle n'ait perdu sa faculté rhizogène, la racine procède tout entière du péricycle de la tige. Il n'y a qu'un seul type de formation pour les racines endogènes précoces des Dicotylédones.

Si le péricycle est simple, un certain nombre de ses cellules s'accroissent radialement et, par deux cloisonnements tangentiels successifs, séparent les trois régions de la racine avec l'épistèle. Ces trois régions s'accroissent ensuite et se cloi-

sonnent comme on sait. Rappelons seulement que, dans les coupes parfaitement axiles, l'écorce n'a jamais qu'un rang d'initiales, rang qui se réduit toujours à une initiale ou à une paire d'initiales.

Si le péricycle est composé, c'est presque toujours l'assise externe qui donne les trois régions de la racine avec leurs initiales; les autres assises ne produisent que la région inférieure, plus ou moins développée, du cylindre central. Rarement le rang externe ne donne que l'épiderme; c'est le second rang qui produit l'écorce et le cylindre central (racines hypocotylées des Cannabinées); il n'y a pas alors d'épistèle. Rarement aussi le rang externe donne l'épiderme et l'écorce avec l'épistèle, le second rang ne produisant que le cylindre central.

L'arc rhizogène est situé tantôt en dehors du liber, tantôt vis-à-vis d'un rayon. Dans le premier cas, les cellules du parenchyme libérien sous-jacent, dans le second les cellules sous-jacentes du rayon, s'accroissent aussi et se cloisonnent plus ou moins activement, mais contribuent seulement à former la base de la racine.

L'arc d'endoderme superposé à l'arc rhizogène est quelquefois digéré immédiatement par la racine, qui est alors dépourvue de poche digestive. Le plus souvent, il accroît ses cellules et les cloisonne, de manière à envelopper la racine d'une poche digestive plus ou moins épaisse. Celle-ci est plus tard détachée tantôt par simple digestion autour de la base, tantôt par incorporation de la zone basilaire à l'épistèle, avec glissement de toute la région supérieure sur la zone incorporée, ou avec digestion d'un anneau intermédiaire à la zone incorporée et à la région supérieure.

Quand la racine est tardive, c'est-à-dire quand elle naît assez tard pour que, dans la région considérée, le péricycle de la tige ait perdu en partie ou en totalité sa faculté rhizogène, soit en durcissant ses membranes, soit en produisant un périderme, ce qui arrive surtout lorsqu'elle se dispose en dehors du liber, elle se constitue aux dépens d'une assise plus profonde et alors divers cas se présentent, suivant le degré de

tardivité. Si la racine naît pendant la formation du périderme péricyclique, elle se forme aux dépens de l'assise génératrice de ce périderme, au-dessous du liège; elle est encore d'origine péricyclique, mais plus profonde que dans le cas normal (*Fragaria*, *Geum*, etc.). Mais le plus souvent elle se constitue aux dépens du parenchyme libérien sous-jacent qui, dans le cas ordinaire, contribue déjà à en former la base. Si elle est très peu tardive, elle procède du parenchyme libérien externe intercalé aux tubes criblés (*Circæa*, etc.). Si elle l'est davantage, elle se forme aux dépens du parenchyme libérien interne, en dedans des tubes criblés (*Viola*, *Asperula*, etc.). Enfin, si elle est tout à fait tardive, elle est produite par la région libérienne du méristème secondaire issu de l'assise génératrice libéroligneuse, comme on le voit dans les végétaux les plus divers. La même plante peut d'ailleurs produire d'abord des racines endogènes précoces d'origine péricyclique, plus tard des racines endogènes à divers degrés tardives, naissant d'abord dans le parenchyme libérien primaire externe, puis dans le parenchyme libérien primaire interne, ensuite dans le parenchyme libérien secondaire, de plus en plus près de son assise génératrice. Ces racines endogènes de diverses origines ne peuvent être comparées entre elles, d'une plante à l'autre, qu'à égal degré d'âge de la tige au point considéré.

Quand la racine est plus précoce que dans le cas ordinaire, elle prend au contraire naissance dans une région moins profonde que le péricycle. Les exemples de pareilles racines ultraprécoces sont très peu nombreux jusqu'ici et ils appartiennent tous au cas extrême, celui où la racine naît aux dépens de l'épiderme et des deux assises corticales externes de la tige, où elle est par conséquent tout à fait exogène (Crucifères, Ficaire). Il est possible qu'il existe aussi des racines un peu moins précoces que celles-là, prenant naissance, par exemple, quelque part vers le milieu de l'épaisseur de l'écorce, endogènes, mais moins que les racines péricycliques ordinaires. Pourtant, on ne connaît encore aucun exemple de pareilles racines endogènes corticales.

On arrive ainsi à formuler la conclusion générale suivante. A égal degré de précocité ou de tardivité, en un mot à égalité d'âge de la tige au point considéré, les racines se forment au même lieu et de la même manière dans la tige de toutes les Dicotylédones, et c'est le péricycle qui est le lieu de production des racines de précocité moyenne, c'est-à-dire des racines latérales ordinaires.

CHAPITRE II

RACINES LATÉRALES DES MONOCOTYLÉDONES.

On sait que la tige des Monocotylédones produit de bonne heure et abondamment des racines latérales, mais on ignore encore où et comment ces racines se forment.

L'un de nous a montré, dès 1866, qu'il existe, chez diverses Aroïdées, à la périphérie du cylindre central de la tige, une zone particulière de tissu où naissent et s'insèrent les racines (1); cette zone a reçu depuis le nom de péricycle. Dix ans après, M. Falkenberg a émis l'opinion que, « comme le péricambium (péricycle) de la racine est le centre de formation des radicelles, de même la couche des cellules à parois minces qui occupe la périphérie du cylindre central du rhizome des Monocotylédones est le tissu dans lequel se prépare la formation des racines latérales (2) »; mais il n'a pas étudié l'origine de ces racines latérales dans la tige, et n'a donné aucune preuve directe à l'appui de cette assertion générale, qui semble fondée uniquement sur l'analogie avec la formation des radicelles dans la racine.

En 1882, M. Mangin a suivi le développement des racines dans la tige de plusieurs Monocotylédones (3). Elles se forment,

(1) Ph. Van Tieghem, *Recherches sur la structure des Aroïdées* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, VI, p. 136 et suiv., 1866).

(2) Falkenberg, *Vergleichende Untersuchungen über den Bau der Vegetations organe der Monocotylen*. Stuttgart, 1876.

(3) L. Mangin, *Origine et insertion des racines adventives et modifica-*

d'après lui, à la fois aux dépens de la couche périphérique du cylindre central et aux dépens de la couche interne de l'écorce. Puis il précise, dans les termes suivants, la part respective de ces deux tissus : « Autant qu'il a été possible de l'observer sur quelques exemples (*Convallaria majalis*, *Sisyrinchium striatum*, *Ruscus aculeatus*, *Zea Mays*), la coiffe de la jeune racine est formée aux dépens des cellules corticales internes de la tige, tandis que le parenchyme cortical et le cylindre central sont produits par la couche dictyogène. » (*Loc. cit.*, p. 255). M. Mangin appelle « couche dictyogène » la couche périphérique du cylindre central, que nous appelons le péricycle, parce que cette couche, outre le cylindre central et l'écorce de la racine, produit encore le réseau libéroligneux par lequel elle s'insère, ou réseau radicifère, dont l'auteur croit l'existence générale chez les Monocotylédones (*loc. cit.*, p. 254).

Plus loin, l'auteur insiste, à plusieurs reprises, sur cette origine double de la racine pour montrer qu'elle est nécessaire. Ainsi, à propos du *Sisyrinchium striatum*, il s'exprime en ces termes : « Si l'on remarque que la coiffe est une formation centripète, tandis que le corps de la racine est, par rapport à la tige sur laquelle il s'insère, une formation centrifuge, on trouvera régulière cette origine double de la racine, puisque l'écorce est à développement centripète, tandis que les assises extérieures du corps central ont un développement centrifuge. » (*Loc. cit.*, p. 274).

Cette double origine est, en outre, nettement représentée dans les deux seules figures de son mémoire qui soient relatives à ce sujet (*loc. cit.*, pl. X, fig. 18, et pl. XII, fig. 37).

Aussi est-on quelque peu étonné, lorsqu'on trouve, dans les conclusions du Mémoire, la même proposition énoncée sous forme dubitative. On lit, en effet, à la page 350 : « Chez toutes les Monocotylédones, les racines adventives prennent naissance dans un méristème spécial formé par l'assise péri-

tions corrélatives de la tige chez les Monocotylédones (*Ann. des sc. nat.*, 6e série, XIV, p. 215, 1882).

phérique du corps central... Le corps central et l'écorce de la jeune racine *paraissent* seuls formés par ce méristème; sa coiffe *serait* constituée par les assises internes de l'écorce. »

En terminant son travail, l'auteur concevait donc quelques doutes à ce sujet, et, par suite, la question restait tout entière à résoudre.

En reprenant l'étude des quatre plantes examinées par M. Mangin, et surtout en étendant nos recherches à un grand nombre d'autres genres pris dans toutes les familles importantes de la classe, nous sommes arrivés à nous convaincre que le mode de formation admis par cet auteur n'existe nulle part chez les Monocotylédones, et que les racines latérales de ces plantes naissent partout suivant le type unique que nous avons établi pour les Dicotylédones dans le chapitre précédent.

La racine y procède, en effet, toujours tout entière du péricycle de la tige, et de la même manière que chez les Dicotylédones. Comme chez la plupart des Dicotylédones aussi, l'arc d'endoderme superposé à l'arc rhizogène se développe en une poche digestive plus ou moins épaisse, qui enveloppe la racine jusqu'après sa sortie, et qui se détache de diverses façons.

Suivant les plantes, ce type général subit diverses modifications secondaires, les unes légères, les autres plus importantes, quelques-unes même plus profondes que celles qui ont été rencontrées chez les Dicotylédones. Pour en exposer le détail, nous suivrons, dans la disposition des familles, le même ordre que pour les radicelles (p. 274 et suiv.).

I. — GRAMINIDÉES.

Graminées (pl. XXXII, fig. 477-487). — Nous avons étudié l'origine des racines latérales au nœud cotylédonaire, dans les *Triticum villosum*, *Ægilops Aucheri*, *Hordeum trifurcatum*, *Lolium speciosum*, etc.; au nœud d'insertion de la gaine blanche bifasciculée qui succède au cotylédon, dans le *Zea*

Mays, le *Cenchrus tribuloides*, etc.; au nœud d'insertion de la première feuille verte, dans le *Coix Lacryma*, le *Lolium speciosum*, le *Zea Mays*, l'*Oryza sativa*, le *Bromus pendulinus*, etc.; enfin, aux nœuds ordinaires de la tige adulte, dans le *Zea Mays*, les *Panicum roseum* et *miliaceum*, le *Sorghum saccharatum*, le *Glyceria spectabilis*, l'*Arundo Donax*, etc. Comme les choses se passent partout de la même manière, une seule description suffira.

Au nœud considéré, qui est voisin du sommet, la tige a, sous l'épiderme, un certain nombre d'assises corticales dont les internes ont souvent leurs cellules disposées en séries radiales, et dont la dernière est l'endoderme actuel; celui-ci a encore à subir plusieurs divisions tangentielles, pour épaissir l'écorce interne et constituer l'endoderme définitif. Le cylindre central contient des faisceaux libéroligneux sur plusieurs cercles, reliés par de nombreuses anastomoses, et n'ayant encore épaissi que les vaisseaux les plus internes de leur bois. Entre le liber des faisceaux les plus externes et l'endoderme actuel, s'étend une couche qui compte de deux à six ou huit assises : c'est le péricycle; ses cellules externes alternent avec celles de l'endoderme, dont elles diffèrent aussi par la forme.

Un certain nombre de ces cellules de l'assise péricyclique externe s'allongent radialement et constituent un arc rhizogène situé tantôt vis-à-vis d'un faisceau libéroligneux, tantôt vis-à-vis d'un intervalle entre deux faisceaux, les deux dispositions pouvant se rencontrer dans la même plante. Ces cellules prennent d'abord toutes une cloison tangentielle, et séparent en dedans le cylindre central, dont la cellule médiane est l'initiale (fig. 477 et 483). Ensuite, il se fait une nouvelle cloison tangentielle dans l'assise externe, mais cette cloison n'en intéresse que les cellules médianes ou la cellule médiane, de sorte que l'écorce et l'épiderme ne se séparent qu'autour de l'extrémité; les cellules latérales forment l'épistèle (fig. 478, 479, 481, 484). La seconde assise du péricycle et les assises plus profondes s'accroissent aussi et se cloisonnent, mais elles

ne donnent que la base du cylindre central et le réseau libéro-ligneux par lequel il s'insère, réseau qui s'étend dans le péricycle à une assez grande distance tout autour de la racine, et qui ressemble de tout point à celui des *Primula* (p. 465).

En même temps, l'arc d'endoderme superposé, qui demeure simple en face de la racine tandis que partout ailleurs il prend des cloisons tangentielles pour produire les assises internes de l'écorce et l'endoderme définitif (fig. 477, 486), dilate ses cellules autour du mamelon élargi et encore peu saillant ainsi constitué, et l'enveloppe d'une poche digestive d'abord simple (fig. 477, 481, 483), qui demeure telle à la base et parfois dans toute son étendue (fig. 485). Mais d'ordinaire elle prend de bonne heure, dans sa région médiane, une, deux ou trois cloisons tangentielles qui la rendent double, triple ou quadruple autour du sommet (fig. 478, 479, 480, 482, 487). Cette poche est plus tard incorporée à la base, dans sa région simple, autour de la région inférieure de l'épistèle, tandis que le reste est détaché par glissement en forme de bonnet (fig. 478, 487). En même temps, le gradin par où l'épiderme s'attache à la dernière cellule de l'épistèle s'efface sous la pression produite par la rapide croissance en épaisseur de l'écorce, dont l'extrémité devient concave, et l'épiderme, devenu libre, s'enchâsse dans le bonnet de la poche, de manière à paraître désormais faire corps avec lui (fig. 487). Il s'épaissit et se cloisonne vivement dans sa région médiane, de façon à remplir la concavité de l'écorce, et prend en conséquence la forme d'une lentille biconvexe. Du même coup, la cellule inférieure de l'écorce se trouve placée dans le même rang que la dernière cellule de l'épistèle; et comme les cellules supérieures de l'épistèle se trouvent, par le fait du glissement du bonnet, reportées dans le même rang que le manchon incorporé de la poche, il en résulte que désormais poche, épistèle et assise corticale externe ne forment plus qu'une seule et même assise dont toutes les cellules prennent la même forme, et dont rien ne permettrait plus tard de soupçonner l'origine hétérogène, si l'on n'en avait pas suivi la formation.

C'est ce bonnet, recouvrant l'épiderme, qui attaque et digère non seulement l'écorce de la tige, mais encore toute l'épaisseur de la gaine foliaire, pour amener enfin la sortie de la racine. A ce moment, l'épiderme de la racine compte souvent au sommet une dizaine d'assises, dont les neuf externes, destinées à s'exfolier, forment la calyptre, et, jointes aux trois ou quatre assises également caduques de la poche, constituent la coiffe. Son écorce, terminée par une paire d'initiales, a pris sur les flancs huit à dix assises, dont l'externe, séparée la première, devient plus tard l'assise pilifère; plus bas, elle se continue par l'épistèle progressivement rétrécie, à travers laquelle se fait, à la base même, le raccord des endodermes. Son cylindre central a une initiale au sommet.

Quelle que soit la région de la tige où elles se forment, les racines latérales des Graminées y naissent donc essentiellement de la même manière que les radicelles de ces mêmes plantes dans la racine mère; elles ont aussi la même structure à la sortie (p. 276 et suiv.). La seule différence est dans leur insertion, qui, au lieu d'être directe, se fait, comme dans les *Primula*, par l'intermédiaire d'un réseau radicifère péricyclique; mais cette circonstance ne modifie en rien le mode d'édification de l'organe.

Les variations qu'on observe d'un genre à l'autre sont tout à fait secondaires. Dans l'*Oryza sativa* (fig. 477 et 478), le *Bromus pendulinus* (fig. 487), le *Cenchrus tribuloides* (fig. 481), le *Sorghum saccharatum* (fig. 486), par exemple, la cloison séparatrice de l'écorce et de l'endoderme n'intéresse que la cellule centrale de l'assise externe de l'arc rhizogène préalablement dédoublé. Aussi l'épiderme, au moment où il quitte la racine pour s'incruster dans la poche, n'a-t-il qu'un rang de deux ou trois petites cellules. C'est dans ces plantes que l'épistèle offre son maximum de développement. Dans le *Panicum roseum*, au contraire, où l'écorce de la tige est très mince et ne compte que quatre assises, y compris l'endoderme, la cloison séparatrice de l'épiderme intéresse la plus grande partie des cellules de l'assise externe; aussi l'épistèle y est-elle

très peu développée et l'anneau basilaire incorporé de la poche très réduit. On observe sous ce rapport tous les intermédiaires dans cette famille.

L'arc rhizogène peut encore se réduire à une seule cellule périphérique, comme on le voit par exemple dans le *Cenchrus tribuloides* (fig. 481). L'écorce et l'épiderme ne se séparent alors que dans la partie moyenne de cette cellule, préalablement cloisonnée suivant le rayon.

A part la désignation du *Zea Mays* dans le passage cité plus haut, le mémoire de M. Mangin ne donne aucune indication sur l'origine des racines latérales des Graminées. On y lit seulement, à la page 319, à propos du *Zea Mays* : « Les coupes qui passent par les nœuds montrent, à divers états du développement, les racines adventives. » La portion de coupe transversale de la tige souterraine de l'*Agropyrum repens* représentée figure 51, planche XIV, passe, il est vrai, par une jeune racine; mais cette racine est déjà trop avancée pour que l'on puisse en conclure quoi que ce soit relativement à l'origine de ses diverses régions. La coiffe y est figurée comme un tout homogène; rien n'y distingue les deux parties dont elle se compose, à savoir la poche endodermique et l'épiderme calyptrogène. De plus, cette coupe n'est pas axile, car l'écorce s'y continue par deux assises autour du sommet du cylindre central. Les raisons pour lesquelles le *Zea Mays* est cité, à la page 255, parmi les Monocotylédones dont la racine tire sa coiffe tout entière de l'écorce de la tige ne sont donc pas données. Nous n'avons pas non plus à les discuter.

Cypéracées (pl. XXXII, fig. 488-495). — Nous avons recherché, dans le *Fimbristylis annua*, l'origine des trois premières racines latérales qui se forment au nœud cotylédonaire, une à l'opposite et une de chaque côté du cotylédon, en superposition avec les trois faisceaux libéroligneux que possède la tige à ce niveau, faisceaux qui prolongent les trois faisceaux libériens de la racine terminale. Ces trois racines continuent donc les trois séries des radicelles pri-

maires, puisque celles-ci naissent en face des faisceaux libériens (p. 283). Mais surtout nous avons étudié la formation des racines qui se développent dans le rhizome de la plante adulte, chez les *Scirpus lacustris* et *atrovirens*, le *Blysmus compressus*, le *Cyperus alternifolius*, le *Schœnus nigricans*, les *Eriophorum latifolium* et *polystachyum*, les *Carex hirta*, *caucasica* et *arenaria*. Prenons pour exemple le *Scirpus lacustris* (fig. 488-491).

Le rhizome de cette plante produit ses racines de très bonne heure, c'est-à-dire très près du sommet, et pour en observer les premiers états, il faut pratiquer des coupes longitudinales ou transversales dans le bourgeon terminal. A ce niveau, l'épaisse écorce, contenant quelques faisceaux foliaires et encore dépourvue de lacunes, se termine en dedans par un endoderme formé de petites cellules nettement différenciées, quoique non plissées. Le cylindre central contient, dans un conjonctif encore sans lacunes, un grand nombre de faisceaux libéroligneux, qui commencent seulement à différencier leurs tubes criblés externes et leurs vaisseaux internes. Entre les faisceaux les plus extérieurs et l'endoderme, le péricycle comprend plusieurs assises; dans l'externe, çà et là double, les cellules sont isodiamétriques et alternent avec celles de l'endoderme; dans les autres, elles sont fort allongées tangentiellement et se différencient plus tard en fascicules libéroligneux pour constituer le réseau radicifère qui entoure le cylindre central.

Pour former une racine, un arc de cellules péricycliques externes, comprenant d'ordinaire huit cellules, mais pouvant se réduire à trois (fig. 488-491), accroît radialement ses éléments, mais surtout ses deux cellules médianes, puis les divise tous par une cloison tangentielle, qui sépare en dedans le cylindre central (fig. 488). Pendant que les cellules de ce dernier grandissent et se cloisonnent en formant un mamelon, les éléments de l'assise externe s'allongent radialement et les deux médians se dédoublent par une cloison longitudinale ; puis ils prennent à leur tour une cloison

tangentielle qui sépare l'écorce et l'épiderme; sur les dix cellules dont se compose alors cette assise, la cloison intéresse les six médianes; les deux qui restent de chaque côté formeront l'épistèle. L'épiderme et l'écorce s'isolent donc ici assez largement autour de l'extrémité. Si l'arc rhizogène se réduit à trois cellules, l'épiderme et l'écorce ne se séparent que dans la région médiane de la cellule centrale de l'arc (fig. 489).

En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les divise par des cloisons radiales, de manière à envelopper la jeune racine d'une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la fin. C'est cette poche qui attaque et digère toute l'épaisseur actuelle de l'écorce, pour amener en définitive la sortie de la racine. Aussitôt après sa formation, l'épiderme se trouve repoussé en dehors contre la poche; le gradin qui l'attache à la dernière cellule de l'épistèle s'efface, et désormais il se trouve enchâssé dans la poche au point de paraître ne faire qu'un avec elle (fig. 489); c'est dans cette position qu'il se cloisonne peu à peu tangentiellement de dehors en dedans (fig. 490 et 491). Du même coup, la cellule inférieure de l'écorce se trouve placée dans le prolongement de la cellule supérieure de l'épistèle. Un peu plus tard, le manchon inférieur de la poche est incorporé dans toute la longueur de l'épistèle, tandis que le reste est refoulé en dehors et se sépare du manchon de la même manière que l'épiderme s'est séparé de l'épistèle (fig. 491).

La ligne de séparation du bonnet de poche est située un peu au-dessous, mais très près de la ligne de séparation de l'épiderme, de sorte qu'il n'y a, pour ainsi dire, pas d'épistèle mise à nu, et que l'assise externe de l'écorce et le manchon incorporé de la poche se continuent presque directement. Cette coïncidence des deux insertions ou des deux départs rend la double origine de la coiffe assez difficile à reconnaître plus tard et l'on pourrait croire, si l'on n'y apportait toute l'attention nécessaire, qu'elle est tout entière constituée par la poche endodermique, cloisonnée tangen-

tiellement autour de l'extrémité. Pourtant la superposition des cellules issues du cloisonnement tangentiel de l'épiderme et l'alternance des séries ainsi formées avec l'assise externe qui provient de l'endoderme, permettent encore de faire la part des deux tissus.

La jeune racine une fois constituée de la sorte, l'écorce du rhizome s'épaissit, d'abord par la formation et l'agrandissement des lacunes, mais aussi par le cloisonnement tangentiel centripète de l'endoderme actuel. La base de la racine s'accroît à mesure pour suivre ce dernier épaississement et forme une sorte de pédicule qui se continue latéralement avec la zone interne de l'écorce et qui relie au cylindre central le mamelon primitif. Celui-ci est ainsi refoulé de plus en plus dans l'épaisseur de l'écorce, avec la ligne de digestion qui l'entoure sur sa face externe. On voit par là que, pour sortir, la racine n'a pas à digérer toute l'épaisseur de l'écorce du rhizome adulte, mais seulement la zone externe, celle qui était formée au moment où elle a pris naissance. Quand elle se détruit plus tard, le trou qu'elle laisse dans l'écorce n'intéresse aussi que cette zone externe, sans atteindre le cylindre central.

A la sortie, sous la poche simple, l'épiderme de la racine a pris douze à quinze assises au sommet. Son écorce, terminée par une paire d'initiales, a tout autant d'assises sur les flancs; la seconde assise s'est dédoublée plusieurs fois vers le bas, tandis que toutes les autres restent simples. Elle se continue plus bas dans le pédicule par l'épistèle, à travers laquelle se fait le raccord des endodermes par l'intermédiaire des cellules triplissées.

Les racines se forment essentiellement de la même manière dans le rhizome des autres Cypéracées citées plus haut (*Blysmus*, *Schœnus*, *Cyperus*, *Eriophorum*, *Carex*). Quelquefois la poche endodermique se dédouble autour du sommet (fig. 495) (*Carex hirta*, *Cyperus alternifolius*, etc.). Dans l'*Eriophorum latifolium*, l'arc rhizogène a six cellules et découpe l'épiderme et l'écorce dans les quatre médianes (fig. 492). Dans le *Cype-*

rus alternifolius, il a sept cellules et ne découpe l'épiderme que dans la médiane (493-494).

Dans le *Schœnus nigricans*, le péricycle, outre l'assise rhizogène et le réseau radicifère, comprend encore une couche épaisse de parenchyme ordinaire interposée entre le réseau et les faisceaux caulinaires les plus externes. Cette couche n'est pas intéressée par la formation de la racine. Quand l'écorce renferme un grand nombre de faisceaux foliaires (*Scirpus atrovirens*, etc.), la racine en la traversant rencontre quelques-uns de ces faisceaux, qu'elle attaque et digère aussi facilement que le parenchyme interposé.

Les racines du nœud cotylédonaire du *Fimbristylis annua* naissent aussi de la même façon dans le péricycle simple. Ici la poche endodermique est double autour de l'extrémité et l'épiderme se sépare plus près du sommet; il y a entre les points de départ de l'épiderme et du bonnet digestif un intervalle plus considérable que dans la plupart des cas précédents. Aussi les deux parties constitutives de la coiffe se distinguent-elles encore nettement au moment de la sortie.

Lemnacées (pl. XXXIII, fig. 496-497). — Le *Lemna trisulca* produit à la base de chaque rameau une racine qui se dirige vers le sommet. Cette racine naît de bonne heure dans le bourgeon, à un moment où l'écorce qui entoure le très étroit cylindre central du rameau n'a que deux assises de cellules dont l'interne est l'endoderme. Pour la produire, un arc péricyclique, formé de deux ou trois cellules, accroît radialement ses éléments et les divise d'abord par une cloison tangentielle qui sépare en dedans le cylindre central. L'assise externe se divise ensuite tangentiellement de bas en haut d'abord une première fois, puis une seconde fois en dedans de la première, les deux cellules du sommet demeurant quelque temps entières (fig. 496). Un peu plus tard, ces deux cellules prennent une cloison tangentielle qui sépare en dedans l'écorce, en dehors l'épiderme (fig. 497). Toute la portion inférieure de

l'assise externe constitue l'épistèle, dont l'assise périphérique se trouve placée dans le prolongement de l'épiderme, de manière que celui-ci paraît plus tard individualisé dès la base. A aucune époque, l'épiderme ne prend de cloison tangentielle; il demeure aussi indéfiniment adhérent à l'écorce. En un mot, il n'y a pas de calyptre.

L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et les cloisonne radialement, enveloppant ainsi le mamelon d'une poche digestive d'abord simple. Mais bientôt cette poche se dédouble autour de l'extrémité (fig. 496); puis chaque moitié se dédouble de nouveau une ou deux fois, de manière que la poche prend quatre à six assises au sommet (fig. 497). Pendant que le mamelon s'accroît, l'assise externe de l'écorce du rameau s'est d'abord dédoublée; puis ses deux rangs sont attaqués et digérés par la poche, qui vient toucher l'épiderme (fig. 496). Celui-ci n'est pas résorbé; il accroît ses cellules et les cloisonne radialement de manière à recouvrir pendant quelque temps la jeune racine d'une gaine protectrice (fig. 497); plus tard cette gaine est percée au sommet et persiste en forme de manchette autour de la base de la racine, qui se développe au dehors.

A ce moment, la poche digestive, qui s'est accrue jusque-là dans toute son étendue, se sépare par résorption tout autour de sa base, et accompagne la racine, dont elle recouvre comme on sait l'extrémité sur une assez grande longueur, en forme de doigt de gant. Largement séparé de l'épiderme de la racine latéralement, ce doigt de gant lui adhère fortement au sommet, et cette adhérence persiste jusqu'à la fin. La coiffe persistante bien connue de la racine de ces plantes est donc formée uniquement par la poche digestive, qui est d'origine endodermique. Elle n'est nullement comparable, par conséquent, à la coiffe de la racine d'une Graminée ou d'une Cypéracée, qui, après l'exfoliation de la poche digestive, est une calyptre, d'origine épidermique.

Au moment de la sortie, l'écorce de la racine, terminée par deux initiales, a pris trois ou quatre assises à la base, où

s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central a une initiale au sommet.

Les racines se forment et s'accroissent de même dans le *Spirodela polyrhiza* (fig. 496), avec cette différence qu'ici chaque jeune rameau produit plusieurs racines en des points voisins (1).

Les Lemnacées offrent donc une double exception à la règle dont nous avons constaté jusqu'ici, pour les racines latérales, l'entière généralité. L'épiderme de la racine y demeure indéfiniment simple et adhérent : il n'y a pas de calyptre. En revanche, la poche, d'abord digestive, plus tard protectrice, y persiste indéfiniment autour de l'extrémité. Nous n'avons rencontré jusqu'à présent cette double exception que dans les radicelles, et seulement à deux reprises : la première fois parmi les Dicotylédones, dans les petites radicelles à croissance limitée des *Æsculus* (p. 167); la seconde fois parmi les Monocotylédones, dans les radicelles de l'*Hydrocharis* (p. 334). Les radicelles renflées des *Æsculus*, les radicelles de l'*Hydrocharis* et les racines latérales des Lemnacées ont en commun la propriété d'avoir une croissance terminale limitée. Nous sommes donc autorisés à établir une corrélation entre l'absence de calyptre et la persistance de la poche digestive d'une part, et la croissance terminale limitée de la racine ou de la radicelle d'autre part.

Naïadacées (pl. XXXIII, fig. 498-499) — Les racines latérales, disposées en verticilles aux nœuds de la tige du *Potamogeton natans*, y naissent très près du sommet, au second nœud. A ce niveau, l'écorce, qui renferme des faisceaux foliaires et où les lacunes commencent seulement à apparaître, est terminée en dedans par un endoderme très nettement différencié, quoique encore dépourvu de plissements. Entre lui

(1) Pour la structure des racines des *Lemna* et *Spirodela*, voy. Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, XIII, p. 173, 1871).

et les faisceaux externes du cylindre central, s'étend une seule assise de cellules, qui est le péricycle.

Un arc de ces cellules péricycliques s'accroissent radialement, et, par deux cloisons tangentielles successives, découpent d'abord en dedans le cylindre central, puis en dehors l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle (fig. 498). En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et entoure le mamelon d'une poche simple, qui reste telle jusqu'à la fin. Bientôt l'épiderme, repoussé en dehors, se sépare du corps de la racine et vient se mouler dans la concavité de la poche, dont il semble désormais faire partie et où il accomplit ses divisions tangentielles centripètes (fig. 499). Plus tard, la partie supérieure de la poche se détache en forme de bonnet, un peu au-dessous du niveau de séparation de l'épiderme, d'avec le manchon inférieur, qui s'incorpore à l'épistèle. Celle-ci est très étroite et, pour suivre l'épaississement ultérieur de la zone interne de l'écorce, s'allonge en forme de pédicule continu avec cette zone interne, comme il a été dit pour les Cypéracées.

Quand la racine, en traversant obliquement la zone externe de l'écorce, rencontre un des faisceaux foliaires, elle le repousse d'abord et le courbe en boucle ; ce n'est que plus tard qu'elle le digère et le perfore. Les faisceaux, même à cet âge où toutes les membranes y sont encore minces, opposent donc à la digestion plus de résistance que le parenchyme ambiant. A la sortie, l'épiderme de la racine compte une dizaine d'assises au sommet. Son écorce, terminée par une initiale avec un ou deux segments entiers, en a un pareil nombre sur les flancs ; puis elle se continue par l'épistèle amincie, à travers laquelle se fait le raccord des endodermes par l'intermédiaire des cellules triplissées.

Les choses se passent de même dans le *P. polygonifolius*, dans le *P. pectinatus*, etc.

Dans le *Cymodocea æquorea*, les racines naissent aussi de très bonne heure dans le bourgeon terminal, au second nœud de la tige. Elles se forment aux dépens du péricycle unisérié,

avec poche endodermique simple incorporée à la base, avec épiderme bientôt enchâssé dans la poche, comme dans les *Potamogeton*. Elles digèrent l'épaisse écorce, qui est lacuneuse dans la zone interne. Bien avant la sortie, l'épiderme y a déjà une trentaine d'assises au sommet; l'écorce, terminée par une initiale accompagnée de chaque côté par deux segments indivis, en a tout autant sur les flancs; la seconde assise s'est cloisonnée cinq ou six fois tangentiellement de dehors en dedans, pendant que toutes les autres restent simples. Le cylindre central, relativement grêle, a une initiale au sommet.

Le rhizome du *Posidonia Caulini*, avec sa très épaisse écorce dépourvue de lacunes et contenant un grand nombre de faisceaux fibreux, avec son cylindre central très étroit, développe ses racines de la même manière dans l'assise externe de son péricycle. Il y a production d'un réseau radifère dans les assises internes.

Il en est de même encore dans le *Ruppia maritima*; mais ici l'écorce, dépourvue de faisceaux, ne subissant qu'un très faible épaississement interne après la naissance de la racine, celle-ci n'est presque pas pédiculée.

Aroïdées (pl. XXXIII, fig. 500-501). — La tige du *Calla palustris* produit aux nœuds des racines verticillées, qui naissent très près du sommet (1). A ce niveau, l'écorce, dont les lacunes commencent à apparaître et qui renferme des faisceaux foliaires, se termine en dedans par un endoderme bien différencié, quoique dépourvu de plissements. Le cylindre central a de nombreux faisceaux dans un conjonctif qui commence à devenir lacuneux; le péricycle y forme un réseau radicifère continu tout autour et finit sous l'endoderme par un rang de cellules isodiamétriques.

Pour former une racine, un certain nombre de ces cellules s'accroissent radialement et, par deux cloisons tangen-

(1) Pour la disposition des racines latérales des Aroïdées, voy. Ph. Van Tieghem, *Recherches sur la structure des Aroïdées* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, VI, 1866).

tielles successives, séparent d'abord le cylindre central en dedans, puis en dehors l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle (fig. 500). En même temps, l'arc d'endoderme superposé agrandit ses cellules et les cloisonne radialement pour former une poche simple et qui demeure telle jusqu'à la sortie. Puis l'épiderme est refoulé dans la poche, où bientôt il se cloisonne tangentiellement (fig. 501). Plus tard, le manchon inférieur de la poche est incorporé à l'épistèle, et le reste s'en sépare par glissement en forme de bonnet; cette séparation a lieu presque au même niveau que celle de l'épiderme, qui se détache loin du sommet. L'écorce de la tige s'épaississant notablement dans sa zone interne, après la formation de la racine, il en résulte que celle-ci est pédiculée. A la sortie, l'épiderme de la racine a quatre assises au sommet. Son écorce, terminée par une initiale avec un ou deux segments indivis, a huit assises centripètes dont la seconde est dédoublée. Son cylindre central est terminé par une ou deux initiales.

Les racines latérales se développent de la même manière dans le rhizome de l'*Acorus Calamus*, aux dépens de l'assise péricyclique extérieure au réseau radicifère, avec poche endodermique simple incorporée à la base. Mais ici les initiales du cylindre central, de l'écorce et de l'épiderme sont fort enchevêtrées, et il faut de l'attention pour distinguer au sommet les trois régions de la racine.

Les racines qui naissent aux nœuds de la tige aérienne et sur la face inférieure des entre-nœuds dans le *Monstera repens* et le *Tornelia fragrans* procèdent aussi de l'assise péricyclique externe; les assises sous-jacentes, qui séparent la première du réseau radicifère, s'accroissent et se cloisonnent aussi, mais ne donnent que la partie inférieure de la racine. Ici l'avant-dernière assise corticale entre avec l'endoderme dans la composition de la poche digestive et, comme l'endoderme prend autour de l'extrémité deux ou trois cloisons tangentielles, on voit que la poche, double dans sa partie inférieure incorporée, est quadruple ou quintuple au sommet. L'épiderme ne se sépare ici qu'au voisinage de l'extrémité et

ses cellules demeurent enchevêtrées au sommet avec celles de l'écorce, qui sont aussi engrenées avec celles du cylindre central. Les trois sortes d'initiales sont donc difficiles à distinguer. Les faisceaux libéroligneux corticaux, quand la racine vient à les rencontrer dans son trajet, sont digérés par elle, comme le parenchyme interposé. Cette digestion est surtout intéressante à suivre quand l'arc péricyclique supralibérien s'y est sclérifié, comme il arrive pour les racines qui se développent tardivement dans les entre-nœuds.

La tige nageante du *Pistia Stratiotes* produit de nombreuses racines latérales, qui y naissent très près du sommet. A ce niveau l'écorce comprend une dizaine d'assises dont la plus intérieure, qui est l'endoderme actuel, n'a pas encore pris les plissements rapprochés de la face interne qu'elle acquerra plus tard en passant à l'état d'endoderme définitif. L'arc rhizogène s'établit dans l'assise externe du péricycle, dont les assises plus profondes donnent naissance au réseau radicifère. Un certain nombre de ces cellules, huit à dix ordinairement, s'accroissent radialement et par une cloison tangentielle séparent le cylindre central en dedans. L'assise externe ne prend et ne prendra à aucune époque de cloison tangentielle dans ses cellules médianes; la séparation en écorce et épiderme ne s'y fait pas; en un mot, l'épistèle revêt le cylindre central dans toute son étendue.

L'arc d'endoderme actuel superposé au mamelon se développe autour de lui en une poche digestive. A cet effet, il divise d'abord toutes ses cellules par une cloison tangentielle. L'assise interne ne se cloisonne désormais que perpendiculairement à sa surface, et demeure simple. L'assise externe prend au contraire des cloisons tangentielles successives de dehors en dehors et vers le sommet; elle acquiert ainsi bientôt cinq et au moment de la sortie six ou sept assises d'épaisseur. Elle se détache alors autour de la base et continue d'envelopper l'extrémité de la racine à la façon d'un bonnet. L'assise interne, au contraire, ne se détache pas et suit indéfiniment la croissance de la racine, à la surface de laquelle

elle demeure intimement appliquée, à laquelle elle constitue pour ainsi dire un faux épiderme.

La racine latérale du *Pistia* naît donc dans la tige comme la radicelle dans la racine. Elle offre aussi le double caractère exceptionnel constaté plus haut dans les radicelles (p. 295 et suiv.), c'est-à-dire l'avortement de la cloison cortico-épidermique et la permanence à sa surface de l'assise interne de la poche digestive préalablement dédoublée. Elle a, en effet, la même croissance terminale limitée et le même mode de vie aquatique que la radicelle.

Typhacées (pl. XXXIII, fig. 502). — Le rhizome du *Typha latifolia* produit aux nœuds des racines latérales, qui naissent près du sommet. Son épaisse écorce lacuneuse renferme des faisceaux libéroligneux et des faisceaux fibreux ; elle se termine par un endoderme plissé. Le cylindre central a un péricycle, sous l'assise externe duquel s'étend un réseau radicifère, et un grand nombre de faisceaux libéroligneux munis chacun d'un arc fibreux interne (1). C'est dans l'assise péricyclique externe que se différencie l'arc rhizogène. Ses cellules s'accroissent et, par deux cloisons tangentielles, forment les trois régions de la racine, avec l'épistèle. L'endoderme actuel se dilate et enveloppe la racine d'une poche digestive simple (fig. 502). Cette poche attaque non seulement le parenchyme de l'écorce, mais encore les faisceaux libéroligneux et les faisceaux fibreux qu'elle rencontre sur son passage. Son action s'exerce même à distance, car il y a tout autour de la racine un espace vide plus ou moins étendu.

Les racines se forment de la même manière dans le rhizome du *Sparganium ramosum*.

Pandanées. — Nous avons suivi la formation des racines latérales dans une tige de *Padanus Weitchii* qui ne mesurait que trois millimètres d'épaisseur. Cette tige a une épaisse

(1) Pour la structure de ce rhizome, voir Ph. Van Tieghem : *Recherches sur la structure des Aroïdées* (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, VI, p. 119, 1866).

écorce renfermant des faisceaux libéroligneux foliaires, terminée en dedans par un endoderme plissé. Le cylindre central contient une cinquantaine de faisceaux libéroligneux munis d'un arc fibreux en dehors du liber. Entre l'arc fibreux des faisceaux externes et l'endoderme, le péricycle a plusieurs rangs de parenchyme. C'est le rang externe qui fournit l'arc rhizogène ; les autres produisent le réseau radicifère, dont les branches s'enfoncent ici, comme on sait, profondément dans le cylindre pour aller s'insérer sur les faisceaux internes. L'arc rhizogène est très large et comprend au moins trente à quarante cellules. Celles-ci s'allongent radialement et, par deux cloisons tangentielles, découpent les trois régions avec leurs initiales. Les trois régions cloisonnent très rapidement leurs cellules et enchevêtrent bientôt au sommet leurs cellules limites, de façon qu'elles deviennent, surtout l'épiderme fortement convexe vers l'intérieur et l'écorce fortement concave, difficiles à délimiter.

L'endoderme de la tige ne suit que très peu de temps la croissance du large mamelon. Ses cellules sont bientôt ramollies, dissociées et enfin résorbées. Il n'y a pas de poche digestive et c'est directement par les assises externes de son épiderme que la racine attaque et dissout l'écorce pour paraître enfin au dehors. L'absence de poche digestive, caractère exceptionnel chez les Monocotylédones, s'observe donc déjà dans la racine mère, avant de se manifester dans ses radicelles comme il a été dit page 301 (fig. 321-325).

II. — JONCINÉES.

Triglochinées (pl. XXXIII, fig. 503-504). — La tige du *Triglochin maritimum* produit ses racines latérales aux nœuds très près du sommet. Le péricycle se divise et donne, par ses assises internes un réseau radicifère, par son assise externe l'arc rhizogène. Celui-ci comprend ordinairement trois cellules, qui s'allongent radialement et se divisent par une cloison tangentielle pour séparer le cylindre central. Des

trois cellules externes, la médiane seule prend ensuite une seconde cloison tangentielle, qui isole l'épiderme et l'écorce; les deux autres forment l'épistèle (fig. 503). En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les cloisonne radialement et forme une poche digestive simple, dans laquelle s'enchâsse bientôt l'épiderme à mesure qu'il se détache de l'écorce.

Avant la sortie, la poche se sépare en forme de bonnet un peu au-dessous du niveau où se détache l'épiderme (fig. 504). L'épiderme a alors trois assises au sommet. L'écorce, terminée par une paire d'initiales, se cloisonne rapidement, ce qui rend son sommet concave et a six assises à la base, où se fait le raccord des endodermes. Le cylindre central, relativement épais, à une initiale au sommet.

Joncées (pl. XXXIII, fig. 505-509). — Le jeune rhizome du *Juncus glomeratus* a une épaisse écorce renfermant des faisceaux libéroligneux, terminée en dedans par un endoderme bien différencié, mais encore sans plissements. Le cylindre central est entouré par un péricycle dont les cellules externes sont isodiamétriques, tandis que les autres, allongées tangentiellement, forment le réseau radicifère.

Pour former une racine, un arc de ces cellules externes s'allongent radialement et se cloisonnent deux fois tangentiellement pour séparer en dedans le cylindre central (fig. 508), en dehors l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle (fig. 505). L'arc d'endoderme superposé agrandit ses cellules, les cloisonne radialement et forme une poche digestive simple, plus tard incorporée à la base et détachée par glissement très peu au-dessous du niveau où l'épiderme se sépare du corps de la racine pour s'incruster dans la poche. Autour du sommet, le bonnet digestif se montre çà et là dédoublé (fig. 506). L'écorce du rhizome s'épaisissant beaucoup dans sa zone interne après la formation du mamelon, la base de la racine s'allonge à mesure en une sorte de pédicule, le long duquel l'épistèle de la racine avec le manchon incorporé de l'endoderme est con-

tinue avec la zone corticale interne nouvellement formée (fig. 507).

A la sortie, l'épiderme de la racine a une vingtaine d'assises au sommet. Son écorce, terminée par une initiale ayant de chaque côté deux segments indivis, en a aussi une vingtaine latéralement; la seconde s'est divisée trois ou quatre fois. Plus bas, l'écorce se continue par l'épistèle de plus en plus rétrécie, à travers laquelle se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central a aussi au sommet une initiale accompagnée de segments indivis.

Même formation des racines dans le rhizome du *Juncus maritimus* (fig. 506) et dans celui du *J. uliginosus*.

Les choses se passent encore de la même manière dans le *Luzula campestris* et le *L. maxima* (fig. 508 et 509), à cette différence près qu'ici l'épiderme se sépare plus près du sommet et qu'entre son point d'attache et le niveau où se sépare le bonnet digestif l'assise périphérique de l'épistèle compte plusieurs cellules.

III. — LILIINÉES.

Alismées (pl. XXXIII, fig. 510-513 et pl. XXXIV, fig. 514-524). — Les racines latérales de l'*Alisma natans* naissent très près du sommet de la tige. A ce niveau, l'écorce, dont les lacunes commencent à poindre, est terminée en dedans par un endoderme encore sans plissements. Le cylindre central a un péricycle simple, double par endroits. L'arc rhizogène comprend trois ou quatre cellules péricycliques. Elles s'acroissent radialement, puis se divisent deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions et l'épistèle, laquelle est ici très réduite (fig. 510 et 511). L'arc d'endoderme superposé se dilate en une poche digestive simple, dans laquelle l'épiderme va s'incruster bientôt au point de paraître issu de son dédoublement (fig. 512). Plus tard, la poche est incorporée autour de la base rétrécie de l'épistèle, et se détache en forme de bonnet très près du point où l'épiderme est devenu libre.

A la sortie, l'épiderme de la racine a pris trois cloisons tangentielles autour du sommet (fig. 514). Son écorce, terminée par une seule grande initiale, a sept ou huit assises sur les flancs et se continue par l'épistèle rétrécie à travers laquelle se fait, à la base, le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central, relativement très étroit, a deux initiales au sommet.

Les racines latérales du *Sagittaria sagittifolia* et du *S. lancifolia* naissent de la même manière très près du sommet, au premier nœud de la tige, et traversent l'écorce obliquement vers le bas. Il est donc préférable d'en rechercher l'origine à l'aide de coupes longitudinales. Les fig. 515 à 521 de la pl. XXXIV en représentent les états successifs. A la sortie, l'épiderme de la racine a quatre ou cinq assises dont la plus externe se détache très bas, près du point où le bonnet digestif se sépare du manchon incorporé. Son écorce, terminée par une initiale, à huit assises à la base, où se fait le raccord des endodermes. Son cylindre central a au sommet une initiale superposée au gros vaisseau axile.

Même mode de formation des racines dans le *Damasonium stellatum*, où le bonnet digestif qui enchâsse l'épiderme se dédouble çà et là. Les figures 522 à 524 montrent les trois états principaux de leur développement.

Butomées (pl. XXXIV, fig. 525-530). — Astélique, comme on sait, dans les entre-nœuds, la tige de l'*Hydrocleis nymphoides* redevient monostélique aux nœuds; le cylindre central y est, en effet, entouré par un péricycle continu, et l'écorce avec ses faisceaux libéroligneux y est limitée également par un endoderme continu. C'est aux nœuds que les racines naissent de très bonne heure dans le bourgeon terminal. L'arc rhizogène comprend quatre ou cinq, parfois sept cellules péricycliques, qui s'accroissent radialement et se cloisonnent comme à l'ordinaire (fig. 527-528). L'arc d'endoderme superposé forme une poche simple à base incorporée, dans le bonnet de laquelle l'épiderme s'enchâsse for-

tement dès qu'il se sépare de l'écorce, de manière à paraître ne faire qu'un avec lui (fig. 529-530).

Même formation des racines dans la tige du *Butomus umbellatus* (fig. 525-526).

Les choses se passent donc dans les Butomées comme dans les Alismées, et il n'y a pas lieu d'y insister davantage.

Commélinacées (pl. XXXV, fig. 531-532). — Nous avons étudié l'origine des racines d'abord dans la région hypocotylée, au nœud cotylédonaire et au nœud suivant chez les *Commelina stricta*, *tuberosa* et *japonica*, puis aux nœuds ordinaires de la tige adulte chez les *Tradescantia zebrina* et *scandens*.

En rapport avec la structure binaire de la racine terminale, la tige hypocotylée du *Commelina stricta*, par exemple, a quatre faisceaux libéroligneux autour d'une moelle, rapprochés deux par deux du côté des faisceaux ligneux primitifs et séparés de l'endoderme plissé par un péricycle simple. Les racines s'y forment vis-à-vis des rayons, en face des deux larges rayons sans déviation, en face des deux autres avec une petite déviation à droite ou à gauche; ces dernières continuent donc les quatre séries des radicelles primaires, les premières forment deux séries surajoutées. Les unes et les autres naissent dans le péricycle unisérié, avec poche endodermique simple et épiderme incrusté dans la poche, comme il a été dit (p. 313) pour les radicelles primaires. Il en est de même des racines qui se forment au premier et au second nœuds de la jeune tige et qui naissent aussi dans le péricycle simple en correspondance avec les rayons, mais très près d'un faisceau libéroligneux sur lequel elles s'insèrent (fig. 533).

Dans les entre-nœuds, la tige adulte du *Tradescantia zebrina* a ses faisceaux libéroligneux externes séparés de l'endoderme plissé par un péricycle simple. Aux nœuds, ce péricycle se cloisonne tangentiellement, et tandis que les assises profondee allongent transversalement leurs cellules et les différencient en fascicules libéroligneux formant le réseau radicifère, l'as-

sise externe conserve aux siennes, du moins en certaines places, leur forme primitive. L'arc rhizogène s'établit au milieu de l'intervalle entre deux faisceaux externes, à côté de la feuille, et comprend un certain nombre de ces cellules périphériques. Elles s'accroissent radialement et, par deux cloisons tangentielles, séparent d'abord le cylindre central (fig. 531), puis l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle (fig. 532). L'arc d'endoderme superposé suit le mamelon et l'entoure d'une poche digestive simple, dans laquelle vient bientôt s'enchâsser l'épiderme. Cette poche est plus tard digérée à la base par l'épaississement de l'épistèle, un peu au-dessous du niveau de séparation de l'épiderme (fig. 531).

A la sortie, l'épiderme de la racine compte huit assises au sommet. L'écorce, terminée par une initiale accompagnée souvent par un segment indivis, a huit assises vers la base, dérivant de trois assises primitives dont la première demeure simple, la seconde se divise en quatre en direction centrifuge, la troisième en trois en direction centripète. Ce grand épaississement de la zone corticale externe donne brusquement à la racine une grande largeur. A la base, elle se continue par l'épistèle très étroite, à travers laquelle se fait le raccord des endodermes. Le cylindre central, très épais, à une initiale au sommet.

Pontédériacées (pl. XXXV, fig. 534-536). — Les racines latérales du *Pontederia cordata* naissent dans le bourgeon terminal, très près du sommet de la tige, et traversent ensuite l'écorce obliquement vers le bas. Il faut donc en étudier les divers états par des coupes longitudinales du bourgeon.

Au niveau où elles font leur première apparition, l'écorce, dont les lacunes commencent seulement à se creuser, est terminée en dedans par un endoderme nettement différencié, quoique encore sans plissements. La périphérie du cylindre central, en dehors du futur réseau radicifère, est occupée par une assise de cellules aux dépens de laquelle se différencie

l'arc rhizogène. Six à huit de ces cellules s'accroissent radialement, puis se partagent par une cloison tangentielle, qui sépare en dedans le cylindre central (fig. 534). Pendant que celui-ci proémine en cône, l'assise externe qui le revêt ne prend pas et ne prendra jamais, dans ses cellules terminales, cette seconde cloison tangentielle qui, partout ailleurs, sépare l'épiderme de l'écorce. La cellule ou la paire de cellules terminales ne se divisent que latéralement et sont des initiales; les autres et les segments issus des premières se partagent par une série de cloisons tangentielles centripètes, comme fait l'écorce dans le cas ordinaire (fig. 535). Comme les radicelles de la même plante (p. 315), les racines latérales n'ont donc pas d'épiderme, partant pas d'écorce, mais seulement une épistèle.

En même temps, l'arc d'endoderme superposé suit la croissance du mamelon et l'entoure d'une poche digestive d'abord simple, et qui demeure telle à la base, mais qui, plus tard, se dédouble progressivement autour du sommet par une série de cloisons tangentielles centripètes (fig. 535). Elle est plus tard incorporée autour de la base dans sa région simple et détachée en forme de bonnet. A la sortie, ce bonnet compte sept assises au sommet. L'écorce, ou mieux l'épistèle, terminée par une seule initiale, a pris successivement vers le bas douze cloisons tangentielles centripètes; la dernière assise, qui est l'endoderme, se raccorde à la base avec l'endoderme de la tige par les cellules triplissées; la seconde assise, se comportant comme fait d'ordinaire la seconde assise de l'écorce, s'est dédoublée tangentiellement à la base pour donner la zone corticale externe. Le cylindre central, relativement grêle, se termine par deux initiales. L'écorce de la tige s'étant notablement épaissie dans sa zone interne, après la formation de la racine, celle-ci est reliée au cylindre central par un pédicule, continu tout autour avec cette zone interne. C'est à la jonction du pédicule avec la racine que se fait la courbure qui amène celle-ci à se diriger vers le bas.

Dans l'*Eichhornia crassipes*, les choses se passent de la

même manière, tant pour la formation de la racine que pour sa structure au moment de la sortie (fig. 536).

Liliacées (pl. XXXV, fig. 537-540). — Les racines qui naissent aux nœuds inférieurs de la tige de germination, dans le *Scilla Hughii* et l'*Asphodelus fistulosus*, se forment aux dépens du péricycle unisérié, avec une poche endodermique simple, dans laquelle s'enchâsse de bonne heure la rondelle d'épiderme détachée autour du sommet, comme il a été dit (p. 318 et suiv.) pour les radicelles primaires dans la racine terminale de ces mêmes plantes.

Le rhizome du *Majanthemum bifolium* produit aux nœuds des racines latérales disposées en verticille, en alternance avec les faisceaux qui s'échappent dans la feuille. A ce niveau, le péricycle a deux ou trois assises entre les faisceaux libéroligneux externes et l'endoderme. L'arc rhizogène se constitue à l'aide d'un certain nombre des cellules du rang externe, qui s'accroissent radialement, et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions et l'épistèle (fig. 537). Les cellules internes du péricycle se cloisonnent aussi pour former le réseau radicifère. L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les cloisonne radialement et forme une poche digestive simple, dans laquelle l'épiderme vient bientôt s'enchâsser; plus tard, cette poche se dédouble autour du sommet et se détache très près de la base, qui est incorporée (fig. 538); l'épistèle est mise à nu dans une zone assez large séparant ce niveau de celui où se détache l'épiderme. A la sortie, l'épiderme de la racine a six assises au sommet; l'écorce, terminée par une initiale, en a huit vers la base, où se fait le raccord des endodermes. Le cylindre central a une initiale au sommet. Les cellules extrêmes des trois régions sont un peu enchevêtrées, et il faut de l'attention pour en distinguer les limites.

Les racines latérales se forment de la même manière dans le rhizome du *Polygonatum vulgare*, à deux différences près (fig. 539). D'abord, elles sont situées en dehors d'un des fais-

ceaux libéroligneux les plus externes du cylindre central, et s'insèrent directement sur ce faisceau, indirectement sur les deux faisceaux voisins par le moyen du réseau radicifère peu développé. Ensuite, l'arc d'endoderme, qui se dédouble déjà dans le *Majanthemum*, agrandit ici plus fortement ses cellules et les partage à plusieurs reprises par des cloisons tangentielles, de façon que la poche digestive est beaucoup plus épaisse, surtout à l'extrémité (fig. 539).

Enfin, c'est encore dans le péricycle, avec poche digestive endodermique plus ou moins épaisse, que se forment les racines dans le rhizome du *Convallaria majalis*, du *Ruscus aculeatus*, ou aux nœuds inférieurs de la tige de l'*Allium ursinum*, de l'*Hemerocallis disticha* (fig. 540), etc. (1).

IV. — IRIDINÉES.

Amaryllidées. — Aux nœuds inférieurs de la tige des *Imantophyllum*, et des *Alstrœmeria*, etc., les racines latérales se forment, dans le péricycle, exactement de la même manière que chez les Liliacées. Elles ont aussi la même structure à la sortie. Il est donc inutile d'y insister.

Dioscoréacées. — Nous avons étudié la formation des racines

(1) Aux Liliacées appartiennent deux des quatre plantes citées par M. Mangin à l'appui de l'origine corticale de la coiffe, savoir le *Ruscus aculeatus* et le *Convallaria majalis*. Au sujet de la première plante, l'auteur s'exprime ainsi : « En même temps, les assises internes de l'écorce (deux ou trois) se sont cloisonnées au-devant du mamelon radiculaire et ont contribué à augmenter sa masse; mais tandis que, d'une part, elles forment toute la coiffe, d'autre part, la couche dictyogène a constitué le cylindre central et le parenchyme cortical de la racine » (*loc. cit.*, p. 283, pl. X, fig. 18). Pour la seconde, il affirme de même « que la coiffe de la jeune racine est constituée aux dépens des assises corticales internes » (*loc. cit.*, p. 298, pl. XII, fig. 37). Il y a en effet, dans ces deux plantes, comme dans les autres Monocotylédones, participation de l'endoderme à la formation de la racine, mais cette participation se borne à la constitution d'une poche digestive. La production de l'épiderme par le péricycle et son incrustation précoce dans la poche, à laquelle il s'unit pour former la coiffe, ont échappé à M. Mangin.

adventives sur les tubercules souterrains du *Dioscorea batatas*, qui sont, comme on sait, des branches de rhizome à croissance limitée. Au point où va naître une racine, un arc de cellules en contact avec le bord externe de deux des faisceaux libéroligneux les plus extérieurs, de nature péricylique, par conséquent, se cloisonnent et produisent, par leur assise externe, la racine située dans l'intervalle des deux faisceaux, par les autres assises, le réseau radicifère par où elle s'insère sur les faisceaux voisins. Pour former la racine, les cellules externes se cloisonnent tangentiellement deux fois, comme à l'ordinaire. L'arc d'endoderme superposé se divise tangentiellement et s'accroît tout autour, de manière à entourer la racine d'une poche digestive double; celle-ci prend plus tard de nouvelles cloisons tangentielles autour de l'extrémité, et y devient quadruple ou quintuple. L'épiderme se sépare plus près du sommet que le niveau où le bonnet digestif se détache de sa base incorporée; entre les deux, l'épistèle met donc à nu un certain nombre de ses cellules superficielles, qui prolongent vers le haut l'anneau incorporé de la poche, vers le bas l'assise corticale externe.

Iridées (pl. XXXV, fig. 541-542). — Nous avons étudié l'origine des racines qui se forment aux nœuds inférieurs de la plantule en germination dans le *Pardanthus chinensis* et le *Sisyrinchium bermudianum*.

Au nœud supra-cotylédonaire, la tige du *Pardanthus chinensis*, par exemple, a quatre faisceaux séparés de l'endoderme par un péricycle simple. L'arc rhizogène correspond à l'un de ces faisceaux; ses cellules s'accroissent radialement et se cloisonnent comme d'ordinaire pour donner les trois régions de la racine et l'épistèle (fig. 541). L'endoderme superposé se dilate en une poche digestive simple, qui se dédouble plus tard autour de l'extrémité (fig. 542); cette poche est incorporée à la base et détachée en forme d'un bonnet, dans la concavité duquel est enchâssé l'épiderme.

Les choses se passent de même dans le *Sisyrinchium*, avec

cette différence que la poche digestive y demeure simple jusqu'à la sortie (1).

Zingibérées (pl. XXXV, fig. 543-544). — Les racines qui naissent aux nœuds inférieurs de la tige du *Costus speciosus* se forment dans le péricycle à la manière ordinaire, et sont enveloppées d'une poche digestive simple d'origine endodermique. Les fig. 543-544 en représentent les deux principaux états.

Cannées (pl. XXXV, fig. 545-546). — La plantule de germination du *Canna indica* produit des racines aux nœuds inférieurs de sa tige. Les faisceaux externes du cylindre central y sont séparés de l'endoderme par un péricycle simple. Çà et là, dans l'intervalle de deux faisceaux, les cellules péricycliques se cloisonnent tangentiellement à plusieurs reprises. L'assise externe produit l'arc rhizogène, les autres se différencient en un réseau radicifère. Les cellules de l'arc rhizogène s'accroissent radialement et se divisent tangentiellement deux fois pour produire les trois régions de la racine et l'épistèle (fig. 545). L'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules, les cloisonne radialement et forme une poche digestive simple et qui demeure telle jusqu'à la fin (fig. 546). Cette poche digère non seulement le parenchyme cortical, mais encore les faisceaux libéroligneux foliaires qu'il renferme. A la sortie, l'épiderme a dix-huit à vingt assises au sommet. Son écorce, terminée par une initiale avec un ou deux segments indivis, a quatorze assises sur les flancs, correspondant à dix assises centripètes primitives, dont la seconde s'est divisée quatre fois en direction centrifuge; à la

(1) Aux Iridées appartient la quatrième des plantes citées par M. Mangin à l'appui de l'origine corticale de la coiffe, savoir le *Sisyrinchium striatum* (*loc. cit.*, p. 274). On voit qu'ici encore l'endoderme se borne à former une poche digestive; c'est dans cette poche que vient s'enchâsser l'épiderme produit par le péricycle, pour s'y cloisonner ensuite tangentiellement et constituer, au moment de la sortie, à l'assise externe près, toute l'épaisseur de la coiffe.

base, elle se prolonge dans l'épistèle rétrécie, à travers laquelle se fait le raccord des endodermes. Le cylindre central a une initiale au sommet.

Les racines se forment de la même manière aux nœuds inférieurs de la tige adulte du *Canna zebrina*. Ici, l'écorce à traverser est plus épaisse et contient plusieurs cercles de faisceaux.

Orchidées. — Nous avons étudié l'origine des racines qui se forment aux nœuds inférieurs de la tige dans l'*Orchis Morio*. Le péricycle y forme un réseau radicifère, et son assise externe produit l'arc rhizogène. Les cellules de l'arc s'accroissent radialement et se cloisonnent comme d'ordinaire pour donner les trois régions de la racine et l'épistèle. En même temps, l'arc d'endoderme superposé se dilate et forme une poche digestive d'abord simple, qui se dédouble plus tard autour du sommet. L'épaississement ultérieur de la zone interne de l'écorce repousse la racine, qui demeure reliée au cylindre central par un pédicule continu avec cette zone interne. A la sortie, l'épiderme de la racine a six assises au sommet. Son écorce, terminée par une paire d'initiales, en a huit à sa base, où elle se continue dans l'épistèle et le pédicule. Son cylindre central a une initiale. Les cellules limites des trois régions sont enchevêtrées au sommet et difficiles à distinguer.

Hydrocharidées (pl. XXXVI, fig. 547-563). — La tige du *Vallisneria spiralis* produit ses racines latérales en verticille très près du sommet. Là, le péricycle qui entoure le cylindre central grêle se différencie en arcs rhizogènes dans les intervalles des faisceaux foliaires en voie de sortie. L'arc rhizogène, fort étroit, comprend seulement deux ou trois cellules, qui s'accroissent radialement, et, par une première cloison, séparent en dedans le cylindre central (fig. 547 à 549); puis une nouvelle cloison, qui n'intéresse que la cellule médiane, sépare au sommet l'épiderme et l'écorce, en laissant l'épistèle sur les flancs (fig. 550-551). L'arc d'endoderme superposé

enveloppe le mamelon d'une poche digestive simple et qui reste telle jusqu'au bout. Dans cette poche s'enchâsse la petite rondelle d'épiderme, qui s'y divise bientôt (fig. 552). L'épaississement considérable de la zone corticale interne refoule bientôt en dehors le mamelon ainsi produit; il demeure rattaché au cylindre central par un long pédicule qui le courbe vers le haut. A la sortie, sous le bonnet de poche, l'épiderme de la racine a au sommet quatre assises, dont l'externe se sépare assez bas. Son écorce, terminée par une paire d'initiales, a dégagé vers la base sept assises centripètes, dont la seconde s'est dédoublée; c'est à travers l'épistèle du long pédicule que la dernière se raccorde avec l'endoderme de la tige. Le cylindre central, relativement étroit, a au sommet trois cellules, dont la médiane seule est une initiale.

La tige de l'*Elodea canadensis* a, comme on sait, un cylindre central très étroit, sans moelle, traversé par un vaisseau axile. Elle produit néanmoins, à ses nœuds ramifères, des racines assez grosses, insérées sur le flanc de la région élargie produite par l'insertion du cylindre central du rameau sur celui de la tige. Là, très près du sommet, on voit dans le péricycle unisérié se différencier un arc rhizogène (fig. 553), dont les cellules s'accroissent radialement et, par deux cloisons tangentielles successives, séparent les trois régions de la racine avec une épistèle assez peu développée (fig. 554-555). Là aussi, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et enveloppe le mamelon d'une poche digestive simple, plus tard incorporée autour de l'épistèle et détachée en forme de bonnet (fig. 556). L'épaississement ultérieur de la zone corticale interne refoule en dehors le mamelon ainsi formé, qui reste rattaché au cylindre central par un pédicule où les cellules arrondies de l'épistèle et de l'anneau incorporé de la poche continuent les cellules arrondies de l'écorce interne.

A la sortie, sous le bonnet de poche, çà et là dédoublé tangentiellement, l'épiderme de la racine a au sommet huit assises, dont les deux externes séparées très bas ont déjà leurs bords libres et forment les deux premières calottes

de la calyptre. Son écorce, terminée par une initiale étroite et haute, parfois accompagnée d'un segment indivis, a neuf assises sur les flancs, formées toutes en direction centripète, la seconde étant demeurée simple comme les autres; l'interne, qui est l'endoderme, se raccorde à la base, à travers l'épistèle, avec l'endoderme de la tige par les cellules triplissées. Son cylindre central a aussi une initiale au sommet.

La tige du *Stratiotes aloides* a un cylindre central assez large produisant dans son péricycle, aux nœuds et très près du sommet, des racines qui se dirigent obliquement vers le bas et dont il faut étudier la formation par des coupes longitudinales. Elles naissent suivant le mode normal (fig. 557), avec une courte épistèle et un épiderme promptement dédoublé autour du sommet (fig. 558). Non seulement l'endoderme, mais encore plusieurs des assises corticales internes dilatent et cloisonnent leurs cellules, de manière à envelopper le mamelon d'une poche digestive épaisse dans toute son étendue (fig. 558-559). A la sortie, la poche, séparée par digestion autour de la base, compte sept ou huit et jusqu'à douze assises à l'extrémité (fig. 560); au-dessous d'elle, l'épiderme a pris aussi sept ou huit rangs de cellules, de sorte que la coiffe, formée d'une poche épaisse et d'une calyptre épaisse, compte au moins une quinzaine d'assises cellulaires. L'écorce, terminée par deux initiales, accompagnées souvent de chaque côté par un segment entier, a dix assises sur les flancs, provenant de sept assises centripètes dont la seconde s'est divisée deux fois; à la base se fait le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Le cylindre central a au sommet une grande initiale qui, au moment où elle vient de se diviser transversalement, prend une forme tabulaire et semble prolonger le péricycle tout autour du sommet.

La tige de l'*Hydrocharis morsus-ranæ* produit ses racines latérales aux nœuds très près du sommet. Le péricycle donne par sa région profonde un réseau radicifère, tandis que son assise externe constitue l'arc rhizogène. Les cellules de cet arc s'accroissent radialement, et par une cloison tangentielle

séparent en dedans le cylindre central (fig. 561). L'assise externe prend ensuite de bas en haut une cloison tangentielle. C'est plus tard seulement que, dans les deux cellules terminales de l'épistèle, se fait une cloison tangentielle qui sépare l'épiderme de l'écorce. L'épiderme paraît alors prolonger l'assise externe de l'épistèle (fig. 562). En même temps, non seulement l'endoderme, mais les trois ou quatre assises corticales internes, dilatent leurs cellules et les cloisonnent radialement, de manière à entourer la racine d'une poche digestive très épaisse dans toute son étendue, et qui s'épaissit encore par ce fait que l'endoderme subit ordinairement deux cloisonnements tangentiels, ce qui donne à la poche six ou sept assises d'épaisseur. A mesure que la racine grandit, les assises de la poche se séparent à la base de l'écorce voisine et les unes des autres (fig. 563), A la sortie, elles sont en outre un peu écartées les unes des autres dans toute leur étendue, et forment autant de bonnets emboîtés, au nombre de six, par exemple, dont l'externe est beaucoup plus réduit.

Sous la poche digestive ainsi formée, l'épiderme de la racine n'a pris et ne prendra jamais aucune cloison tangentielle; il est et demeure aussi indéfiniment adhérent à l'écorce (fig. 563). Celle-ci, terminée par deux initiales, accompagnées souvent de chaque côté par un segment indivis, a pris vers le bas cinq assises centripètes, dont la première s'est dédoublée tangentiellement; l'interne se raccorde à la base avec l'endoderme de la tige par l'intermédiaire des cellules triplissées. Le cylindre central a une initiale au sommet.

En un mot, les choses se passent dans cette plante pour la racine dans la tige comme pour la radicelle dans la racine; le caractère exceptionnel offert par la radicelle (p. 334 et suiv.) s'y retrouve dans la racine. Mais, sous ce rapport, l'*Hydrocharis* n'est pas l'unique exemple de cette exception chez les Monocotylédones, comme il l'était pour les radicelles. Nous avons vu, en effet (p. 503), que les Lemnacées se comportent comme lui. Il y a donc, chez les Monocotylédones, deux exemples de racines à épiderme demeurant indéfiniment

simple (Lemnacées, *Hydrocharis*) et deux exemples de racines à épiderme complètement avorté (Pontédériacées, *Pistia*) : en tout quatre exemples de racines sans calyptre, à coiffe formée exclusivement par la poche digestive.

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE DES MONOCOTYLÉDONES ET COMPARAISON AVEC LES DICOTYLÉDONES.

Les recherches qui précèdent ayant porté sur vingt et une familles de Monocotylédones, le résultat d'ailleurs fort simple qui en découle doit être regardé comme s'appliquant à toute la classe.

La racine procède tout entière du péricycle de la tige, et même tout entière de son assise externe, lorsqu'il est composé. Pour la former, les cellules de l'arc rhizogène, dont le nombre se réduit rarement à l'unité, s'accroissent radialement et séparent, d'abord par une première cloison tangentielle, le cylindre central, puis par une seconde cloison tangentielle extérieure à la première, mais ne portant que sur une ou plusieurs des cellules médianes, l'écorce et l'épiderme avec l'épistèle. Ces trois initiales ou paires d'initiales dérivent donc de la cellule médiane ou des deux cellules médianes de l'arc rhizogène. Les Pontédériacées et, parmi les Aroïdées, le *Pistia Stratiotes* font seuls exception à la règle; la seconde cloison tangentielle ne s'y fait pas, l'épiderme et l'écorce ne s'y séparent pas, le cylindre central y demeure recouvert dans toute son étendue par l'épistèle.

De très bonne heure, l'épiderme est refoulé en dehors et son bord se détache de l'épistèle, dont le cran de séparation avec l'écorce s'arrondit et s'efface au-dessous de lui. Chacune des trois régions de la racine se cloisonne ensuite comme on sait. Notons seulement que l'initiale ou les deux initiales de l'écorce ne se divisent jamais tangentiellement. Les Lemnacées et, parmi les Hydrocharidées, l'*Hydrocharis morsus-ranæ* offrent seuls sous ce rapport une double exception. L'épiderme y demeure adhérent à l'écorce et ne se cloisonne pas tangentiellement.

L'arc d'endoderme superposé à l'arc rhizogène s'accroît toujours en une poche digestive, simple ou composée, ordinairement incorporée, quelquefois digérée à la base. Il n'y a d'exception sous ce rapport que chez les *Pandanus*. C'est dans la concavité de cette poche que vient s'enchâsser l'épiderme détaché de l'écorce, si bien que les deux tissus, d'origine pourtant très différente, n'en forment plus qu'un seul. A la sortie, la coiffe est donc toujours composée ici d'une poche et d'une calyptre, à cinq exceptions près, savoir : les Pontédériacées et le *Pistia*, où elle se réduit à une poche parce qu'il n'y a pas d'épiderme; les Lemnacées et l'*Hydrocharis*, où elle se réduit à une poche parce que l'épiderme demeure simple et adhérent; les *Pandanus*, enfin, où elle se réduit à une calyptre parce que la poche est éphémère.

Dans ses traits essentiels, la formation des racines latérales s'opère donc chez les Monocotylédones comme chez les Dicotylédones. Elle offre aussi les mêmes modifications secondaires dans les deux classes. Pourtant, il y a sous ce rapport quelques différences. Ainsi les racines latérales paraissent avoir presque toujours une poche digestive chez les Monocotylédones, tandis que chez bon nombre de Dicotylédones elles en sont dépourvues. D'autre part, si l'absence de calyptre par suite de la permanente simplicité de l'épiderme a été déjà rencontrée chez les Dicotylédones, notamment dans les radicelles courtes et renflées des *Æsculus* (p. 167), l'absence de calyptre par suite de l'avortement total de l'épiderme n'a été trouvée jusqu'ici que chez les Monocotylédones.

CHAPITRE III

RACINES LATÉRALES DES GYMNOSPERMES.

Nous avons étudié la formation des racines latérales dans la région inférieure de la tige hypocotylée chez diverses Conifères et chez les *Ephedra*.

Conifères. — Dans la région inférieure de sa tige hypoco-

tylée, le *Cupressus sempervirens*, par exemple, produit des racines latérales. Elles y naissent après le début du liber et du bois secondaires, en correspondance avec les rayons qui se forment en face des faisceaux ligneux primaires, mais obliquement, avec une déviation d'environ 35 degrés. Elles sont donc disposées en quatre séries rapprochées deux par deux du côté des cotylédons, et qui continuent les quatre rangées des radicelles primaires sur le pivot. Les racines doubles n'y sont pas rares.

Pour former une racine, un arc de cellules externes du péricycle accroît ses cellules et les divise tangentiellement deux fois, séparant ainsi les trois régions et l'épistèle. En même temps, l'arc d'endoderme superposé dilate ses cellules et enveloppe la racine d'une poche endodermique simple. En un mot, ces racines se forment comme les radicelles primaires dans la racine principale (p. 343, fig. 376-378). Elles ont aussi la même structure à la sortie.

Les racines qui naissent sur la tige hypocotylée du *Taxus baccata* se forment aussi comme les radicelles primaires dans la racine terminale et sont, comme elles, dépourvues de poche digestive (p. 350, fig. 380).

Gnétacées. — Sur la région inférieure de leur tige hypocotylée binaire, les *Ephedra* (*E. distachya*, *monostochya*, etc.) produisent des racines qui y naissent dans le péricycle, en quatre rangées, et s'accroissent dans l'écorce avec poche digestive épaisse, comme il a été dit pour les radicelles, à la page 359, figure 388. Elles ont aussi la même structure à la sortie. Il est donc inutile d'y revenir.

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE DES GYMNOSPERMES ET COMPARAISON AVEC LES ANGIOSPERMES.

En résumé, les racines latérales des Gymnospermes naissent tout entières dans le péricycle de la tige, le plus souvent avec poche digestive d'origine endodermique. Elles s'y constituent

comme on l'a vu (p. 360) pour les radicelles dans la racine; elles ont aussi la même structure à la sortie.

Les racines latérales des Gymnospermes se forment donc au même lieu et suivant le même mode que celles des Angiospermes. Par la manière dont, après leur sortie de la tige, elles desquament leur épiderme, elles ressemblent à celles des Dicotylédones, non à celles des Monocotylédones. En un mot, les Gymnospermes sont climacorhizes, non liorhizes.

Conclusions de l'étude des Phanérogames.

De la comparaison des résultats généraux, obtenus pour chacune des trois classes de l'embranchement des Phanérogames à la suite de l'étude comparative d'un très grand nombre de familles de ces trois classes, se dégage, en définitive, une conclusion très simple qu'il nous reste à formuler.

Dans toutes les Phanérogames, les racines latérales précoces procèdent tout entières d'une croissance transversale localisée du péricycle de la tige, et leurs trois régions se découpent de la même manière, par deux cloisonnements tangentiels successifs, dans le groupe de cellules péricycliques ainsi accrues radialement. Il n'y a pour elles qu'un seul type de formation.

Ce qui varie, c'est la position de la racine latérale, qui est située tantôt en face du liber d'un faisceau libéroligneux, tantôt en face d'un rayon. Dans le second cas, elle est disposée, soit au milieu du rayon, et insérée à la fois sur les deux faisceaux libéroligneux voisins, soit latéralement, et insérée seulement de ce côté sur le flanc du faisceau libéroligneux correspondant.

Ce qui varie surtout, c'est l'existence ou l'absence d'une poche digestive, son épaisseur, son origine, son mode de séparation à la sortie, caractères qui modifient beaucoup, sans doute, l'aspect extérieur de la racine pendant sa croissance interne, mais qui sont pourtant tout à fait accessoires.

Si la racine latérale est extrà-précoce, comme sont les

racines gemmaires, elle est exogène. Si elle est tardive, elle se fait au contraire plus profondément, c'est-à-dire dans le parenchyme libérien primaire ou même dans le parenchyme libérien secondaire. Mais de pareilles racines extrà-précoces, tardives ou ultrà-tardives, ne peuvent pas être homologuées aux racines de précocité moyenne, qui sont seules comparables entre elles d'une plante à l'autre.

Après la sortie de la racine, une fois la poche digestive exfoliée, quand elle existe, le mode de désquamation de l'épiderme composé permet de tracer, chez les Phanérogames, deux divisions : celle des Climacorhizes, où la désquamation est partielle, comprenant les Dicotylédones, moins les Nymphéacées, et les Gymnospermes; celle des Liorhizes, où la désquamation est totale, comprenant les Monocotylédones, plus les Nymphéacées.

CHAPITRE IV

RACINES LATÉRALES DES CRYPTOGAMES VASCULAIRES.

La loi qui assigne aux racines latérales des Phanérogames le péricycle de la tige comme lieu de formation se modifie-t-elle quand on passe aux Cryptogames vasculaires, et quelle est la nature de cette modification? Ensuite, comment la racine latérale de ces plantes s'édifie-t-elle aux dépens de sa cellule mère, et comment diffère-t-elle sous ce rapport des Phanérogames? Telles sont les deux questions qu'il nous reste à résoudre.

L'origine des racines des Cryptogames vasculaires a été étudiée par M. Strasburger, chez l'*Azolla*, en 1873 (1); par M. Bruchmann, dans les *Lycopodium* et *Isoetes*, en 1874 (2); par M. Kny, dans le *Ceratopteris*, en 1875 (3); par M. de Janc-

(1) Strasburger, *Ueber Azolla*, p. 44, 1873.

(2) Bruchmann, *Ueber Anlage und Wachsthum der Wurzeln von Lycopodium und Isoetes* (*Ilnaische Zeitschrift*, VIII, 1874).

(3) Kny, *Entwickelung der Parkeriaceen* (*Nova Acta*, XXXVII, 1875).

zewski, chez les *Equisetum*, en 1876 (1); par M. Treub, dans le *Selaginella Martensii*, en 1877 (2); enfin, tout récemment, par M. Lachmann, chez diverses Fougères, en 1887 (3). Nous aurons à rectifier, sur plusieurs points, les résultats obtenus par ces auteurs.

I. FILICINÉES.

Parmi les Filicinées, nous avons suivi la formation des racines latérales chez les Fougères et chez les Hydroptérides.

Fougères (pl. XXXVII, fig. 564-569, pl. XXXVIII, fig. 570-572, et pl. XXXIX, fig. 573). — Les racines latérales des Fougères naissent très près du sommet de la tige; elles sont plus précoces encore que celles des Monocotylédones. Aussi est-ce principalement par des coupes longitudinales axiles de l'extrémité de la tige en voie de croissance qu'il convient d'en étudier les divers états.

La tige des Fougères s'édifie, comme on sait, à l'aide d'une initiale unique, qui a d'ordinaire la forme d'une pyramide triangulaire à base bombée, et qui ne se cloisonne que parallèlement à ses trois faces planes. Il en résulte aussitôt que cette tige n'a pas d'épiderme, ou du moins que ce qu'on y désigne sous ce nom n'est nullement comparable à l'épiderme de la racine de ces mêmes plantes, ou à l'épiderme de la tige et de la racine des Phanérogames. Les trois séries de segments ainsi découpés se cloisonnent ensuite de nouveau pour constituer l'écorce et le cylindre central. Mais la manière dont ils se divisent pour former ces deux régions est très différente suivant que la tige considérée est monostélique ou polystélique, et, dans ce second cas, suivant qu'elle est gamostèle ou dialystèle.

(1) Janczewski, *Recherches sur le développement des bourgeons dans les Prêles* (*Mém. de la Soc. des sc. nat. de Cherbourg*, XX, 1876).

(2) Treub, *Recherches sur les organes de végétation du Selaginella Martensii*, Leyde, 1877, p. 11.

(3) Lachmann, *Sur l'origne des racines latérales dans les Fougères* (*Comptes rendus*, CV, p. 135, 1887).

Si la tige est monostélique, comme dans les *Hymenophyllum* et les *Lygodium*, comme dans les stolons aphylles des *Nephrolepis*, etc., la portion interne des segments édifie le cylindre central unique. Si elle est polystélique gamostèle, comme dans les *Microlepia*, etc., la portion interne des segments produit de l'écorce, comme leur portion externe, et c'est la partie moyenne qui constitue tout autour le manchon libéroligneux résultant de la fusion des stèles. Si elle est polystélique dialystèle, comme c'est le cas ordinaire, non seulement la région interne et la région externe des segments, mais encore certaines parties de la région moyenne donnent de l'écorce, et ce sont seulement les autres parties de leur région moyenne qui constituent autant de stèles distinctes. C'est ainsi qu'avec un mode de croissance terminale et de formation des segments toujours le même, par un mode d'emploi différent de ces segments, on obtient des structures définitives très différentes.

Ceci bien compris, cherchons l'origine des racines latérales d'abord dans le cas le plus simple, celui d'une tige monostélique, et prenons pour premier exemple les stolons aphylles des *Nephrolepis* (*N. exaltata*, *davallioides*, *pectinata*).

Ces stolons ont une écorce épaisse de quinze à vingt assises, dont l'externe, ou exoderme, se prolonge çà et là en poils écailleux, et dont les internes sont disposées assez régulièrement en séries radiales. L'assise la plus interne, ou endoderme, a ses parois latérales munies de plissements rapprochés de la face externe; de bonne heure, cette assise allonge radialement ses cellules et les divise par une cloison tangentielle située en dedans des plissements, de sorte que l'assise plissée se trouve être désormais l'avant-dernière de l'écorce totale (fig. 564 et 565). Çà et là, les cellules plissées prennent même une seconde cloison tangentielle en dehors de la première, mais toujours en dedans des plissements; en ces points, l'assise plissée devient donc l'antépénultième de l'écorce totale. En un mot, l'endoderme se dédouble une et, çà et là, deux fois dans cette tige, comme il se dédouble dans la

racine des *Equisetum* (1). Plus tard, l'assise sus-endodermique épaissit, lignifie et brunit ses membranes, surtout sur la face interne, contre l'assise plissée (fig. 564 et 565).

Le cylindre central a un péricycle unisérié, çà et là double, un mince anneau libérien continu tout autour, ordinairement quatre, quelquefois trois ou cinq paquets de vaisseaux étroits, épaissis les premiers, séparés de l'anneau de tubes criblés par deux ou trois rangs de petites cellules conjonctives, et un ensemble de grands vaisseaux mêlés à du parenchyme, disposés aussi bien en dedans des vaisseaux étroits que dans leurs intervalles, et occupant toute la région centrale sans laisser de moelle (fig. 564 et 565) (2).

Il arrive quelquefois, notamment dans le *N. davallioides*, que le péricycle manque en face des groupes de vaisseaux étroits, c'est-à-dire des faisceaux de protoxylème, où les tubes criblés s'appuient directement contre l'endoderme dédoublé; le cylindre central prend alors une forme prismatique, quadrangulaire s'il y a quatre faisceaux ligneux primordiaux. Dans tous les cas, il faut bien se garder de rattacher au péricycle l'assise ou les deux assises situées en dedans de l'assise plissée, et qui proviennent avec elle du dédoublement de l'endoderme.

Au sommet, le stolon se termine par une cellule en forme de pyramide triangulaire à base bombée, qui ne se cloisonne que parallèlement à ses trois faces planes (fig. 566). Les segments triangulaires ainsi découpés se superposent en trois

(1) Voy. sur ce point : Ph. Van Tieghem, *Sur le dédoublement de l'endoderme chez les Cryptogames vasculaires* (*Journal de botanique*, 16 novembre 1888).

(2) Cette structure est bien telle qu'il convient à une tige et non à une racine de Fougère. Aussi comprend-on difficilement comment M. Trécul a pu méconnaître la nature caulinaire de ces stolons, qu'il regarde comme des racines sans coiffe (*Ann. des sc. nat.*, 5e série, X, p. 344, 1869 et XII, p. 219, 1870. — *Comptes rendus*, CI, p. 915, 1886). M. Lachmann n'a pas eu de peine à en rétablir le véritable caractère, déjà reconnu d'ailleurs par les botanistes antérieurs, notamment par Kunze, Hofmeister, Russow, de Bary, etc. (*Comptes rendus*, CI, p. 603, 1885 et *Bull. de la Soc. bot. de Lyon*, décembre 1885).

séries et se divisent progressivement, pour édifier l'écorce et le cylindre central de la tige, laquelle est dépourvue d'épiderme. Il s'y fait des cloisons radiales et des cloisons transverses, mais c'est surtout des cloisons tangentielles qu'il est nécessaire de fixer la succession. La première s'établit à peu près au tiers à partir du centre, et la seconde aux deux tiers. Des trois cellules ainsi formées, l'interne produit le cylindre central, et ne tarde pas à découper le péricycle en dehors. La moyenne donne la zone corticale interne et découpe d'abord l'endoderme en dedans. L'externe produit la zone corticale externe, où l'exoderme ne se sépare qu'en dernier lieu; bien avant que l'exoderme soit individualisé, les cellules externes de cette zone se prolongent çà et là en poils pluricellulaires, dont la base forme un prolongement descendant en manière d'écusson.

C'est très près du sommet, dans la cellule moyenne encore indivise du segment, cellule qui représente virtuellement toute la zone corticale interne, qui est l'endoderme actuel, que la racine prend sa naissance (fig. 566). Cette cellule hizogène n'a en dehors d'elle que la cellule constitutive de la zone corticale externe, encore simple, parfois déjà dédoublée, mais qui ne produira pas plus de deux assises en cet endroit. La cellule mère sépare d'abord trois cellules basilaires, et prend par là la forme tétraédrique (fig. 567). Ensuite elle découpe un segment épidermique, puis une série de trois segments cortico-stéliques, puis un nouveau segment épidermique, et ainsi de suite (fig. 568). Chaque segment épidermique se dédouble dans sa région médiane, et bientôt les deux moitiés se séparent en glissant; pourtant le premier segment épidermique demeure ordinairement indivis (fig. 569 et 570). Chaque segment cortico-stélique prend d'abord la cloison médio-corticale, puis la cloison séparatrice du cylindre central (fig. 568). La cellule destinée à la zone corticale externe ne se dédouble qu'une ou deux fois; la cellule destinée à la zone corticale interne sépare d'abord l'endoderme en dedans, puis se dédouble un certain nombre de fois en direction principalement

centrifuge (fig. 569 et 570). En un mot, la cellule mère de la racine et chacun de ses segments se cloisonnent comme il a été dit (p. 364 et suiv., fig. 389-393) pour la cellule mère de la radicelle et pour la cellule terminale de la racine développée. Au point de vue de l'épaisseur relative des deux zones de l'écorce, les *Nephrolepis* se comportent donc comme les *Polypodium*, *Asplenium*, etc. (p. 373 et suiv.).

Pendant que la racine s'accroît ainsi, l'écorce de la tige s'épaissit progressivement tout autour d'elle, en demeurant formée de deux assises seulement en dehors d'elle. La jeune racine se maintient donc très voisine de la périphérie, où elle dessine même bientôt une protubérance hémisphérique, mais elle s'éloigne de plus en plus du cylindre central que sa base touchait d'abord. Elle demeure pourtant reliée au cylindre. En effet, les cellules péricycliques situées au-dessous de la cellule rhizogène s'allongent radialement et forment un pédicule de plus en plus long (fig. 567-570), bordé tout autour par l'endoderme, pédicule tout à fait comparable à celui qui se forme au-dessous des radicelles dans les Osmondacées, les Cyathéacées, les Marattiacées, etc. Il y a pourtant cette différence que, dans les radicelles de ces plantes, le pédicule procédant du cylindre central de la racine mère a la structure du cylindre central de cette racine mère, c'est-à-dire la même structure que le cylindre central de la radicelle qu'il supporte; tandis que, dans le cas actuel, le pédicule, procédant du cylindre central de la tige, a la structure caractéristique de ce cylindre central, et, par conséquent, une structure différente de celle de la racine qu'il supporte.

En outre, le pédicule ne traverse pas l'écorce horizontalement, mais obliquement vers le sommet du stolon, de sorte que les sections transversales de la tige rencontrent çà et là un de ces pédicules coupé à peu près transversalement et situé à diverses profondeurs dans l'écorce (fig. 564 et 565). Il correspond à l'un des faisceaux de protoxylème, mais d'ordinaire un peu latéralement. Il offre en petit, c'est-à-dire avec deux faisceaux de protoxylème seulement, la structure du cylindre

central de la tige mère; son endoderme est aussi dédoublé en dedans des plissements, et le péricycle peut également y manquer par endroits. Les deux faisceaux vasculaires y sont disposés suivant le rayon de la tige, et cela d'autant plus exactement qu'on le coupe plus bas, c'est-à-dire plus près de son point de confluence avec le cylindre central (fig. 564 et 565). En d'autres termes, l'orientation du système libéroligneux du pédicule, et par suite, celle de la racine, est longitudinale, et non pas transversale comme celle du système libéroligneux de la radicelle par rapport à la racine mère. L'un de nous a montré autrefois que, suivant les genres, l'orientation de la racine binaire par rapport à l'axe de la tige mère est, chez les Fougères, tantôt longitudinale (*Lastræa*, etc.), tantôt transversale (*Aspidium*, *Adiantum*, *Polypodium*, *Blechnum*, etc.) (1). On voit que, sous ce rapport, les *Nephrolepis* ressemblent aux *Lastræa*. Bien que se formant à une époque où le cylindre central de la tige n'a pris encore aucune différenciation, la racine n'en offre donc pas moins une position et une orientation déterminées par rapport à la structure définitive de ce cylindre central.

Ainsi maintenue près de la périphérie, la racine y fait, à mesure qu'elle s'accroît comme il a été dit, une protubérance de plus en plus forte. Les deux assises corticales qui la revêtent se dilatent et se cloisonnent radialement, de manière à suivre d'abord la protubérance (fig. 567-569). Plus tard, l'assise interne est attaquée par la racine, ses cellules se disjoignent, s'arrondissent, diminuent de volume, et enfin sont complètement résorbées (fig. 570). L'épiderme de la racine s'appuie alors directement contre l'exoderme de la tige. A ce moment (fig. 570), la racine possède quatre assises de segments cortico-stéliques et autant de segments épidermiques dont les deux moyens seuls sont dédoublés, c'est-à-dire en tout six assises à l'épiderme.

L'exoderme de la tige continue encore quelque temps à

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 62 et suiv., 1871).

suivre la croissance du membre, qu'il enveloppe d'une gaine. C'est assez tard, lorsqu'en se dirigeant obliquement vers le sommet de la tige, elle a déjà atteint un millimètre de longueur, que la racine perce enfin cette gaine au sommet, et s'allonge librement au dehors; autour de sa base, le reste de la gaine persiste en forme de manchette lâche. A ce moment, elle compte cinq assises de segments cortico-stéliques et autant de segments épidermiques, dont l'externe est demeuré simple et dont l'interne est encore indivis, c'est-à-dire huit assises dans l'épiderme total. Les choses se passent donc, sous ce rapport, à peu près comme parmi les Monocotylédones chez les Lemnacées (p. 501). Toutefois, il n'y a pas ici de poche digestive; c'est l'épiderme de la racine qui exerce directement la faible digestion exigée pour la sortie du membre, laquelle ne porte que sur la seconde assise corticale.

La racine se forme de la même manière, à de légères différences près, dans le *Trichomanes radicans*, dont la tige est également monostélique. Sous l'exoderme fortement différencié, cette tige a une épaisse écorce, dont les assises externes épaississent et lignifient leurs membranes, tandis que les internes ne font que les brunir, et dont l'endoderme demeure simple. Le cylindre central a un péricycle double et par endroits triple, un anneau continu de liber et un bois formé de larges vaisseaux mêlés de parenchyme, remplissant toute la région centrale sans laisser de moelle; les vaisseaux étroits, les premiers formés, ou protoxylème, y forment, à peu de distance du centre, deux groupes opposés, à partir desquels l'épaississement des vaisseaux marche à la fois vers l'intérieur et vers l'extérieur.

Au sommet, la cellule mère forme et divise ses segments comme dans les *Nephrolepis;* mais, une fois le cylindre central séparé, le cloisonnement tangentiel des deux cellules corticales se fait plus rapidement, de sorte que l'exoderme est individualisé de très bonne heure, comme l'endoderme. Il en résulte que la racine, tout en prenant naissance très près du sommet, se forme dans une cellule de l'endoderme déjà séparé

comme tel. Elle a donc, en dehors d'elle, non pas deux, mais trois rangs de cellules, savoir : la moitié externe de la zone corticale interne, et toute la zone corticale externe, double à cet endroit. La cellule rhizogène se cloisonne comme il a été dit pour la cellule mère de la radicelle de ces mêmes plantes (p. 376, fig. 396) et les segments épidermiques y demeurent aussi tous simples. Des trois assises corticales extérieures à la racine, l'interne se développe autour d'elle en une poche digestive, la moyenne est digérée par cette poche et l'externe, c'est-à-dire l'exoderme, est d'abord distendue en forme de gaine, puis finalement, percée au sommet.

La tige des *Hymenophyllum* est aussi monostélique. Sous une épaisse écorce, dont l'endoderme ne se dédouble que çà et là en dedans des plissements, le cylindre central à un péricycle simple ou double suivant les endroits, un mince anneau libérien continu et un bois mélangé de larges vaisseaux et de parenchyme remplissant toute la région centrale sans laisser de moelle; le protoxylème y forme trois paquets, un au centre et deux autres opposés, à mi-longueur du rayon. La racine se forme ici aux dépens d'une cellule endodermique, assez loin du sommet pour que l'écorce ait déjà acquis à ce niveau une notable épaisseur. Dans l'*H. alatum*, par exemple, la cellule rhizogène est recouverte par quatorze assises de cellules, tandis que l'écorce au-dessus et au-dessous d'elle en acquiert en définitive vingt-deux. Cette cellule se cloisonne comme il a été dit pour la cellule mère de la radicelle des *Hymenophyllum* (p. 375). Elle est portée et poussée par un pédicule péricyclique, mais ce pédicule est beaucoup plus court que dans les *Nephrolepis*. En outre, les cellules libériennes et conjonctives, situées sous la racine, s'allongent radialement et contribuent à allonger le pédicule vers l'intérieur et à former l'insertion vasculaire du membre sur le bois de la tige. La racine ne se forme pas ici en face des deux faisceaux de protoxylème excentriques, mais, au contraire, perpendiculairement, ou à peu près, au diamètre qui les joint. Non seulement l'assise sus-endodermique, mais aussi les trois ou quatre

assises corticales suivantes, se dilatent et se cloisonnent radialement pour suivre la croissance de la racine, qu'elles enveloppent d'une poche épaisse. C'est cette poche qui attaque et digère les dix ou douze assises corticales situées en dehors d'elles, pour amener la racine au dehors. La racine latérale a donc une poche digestive plus épaisse encore que celle de la radicelle (p. 376).

Dans le *Lygodium scandens*, la tige, monostélique comme dans les exemples précédents, a une épaisse écorce dont la zone interne est collenchymateuse, et dont l'endoderme n'est pas dédoublé ou ne l'est qu'en quelques points. Le cylindre central a un péricycle double, çà et là triple, un mince anneau libérien continu et un bois volumineux formé de larges vaisseaux mêlés de parenchyme remplissant tout le centre sans laisser de moelle; les vaisseaux les plus étroits et les premiers nés, constituant le protoxylème, sont situés à la périphérie du bois, où ils forment une couche presque continue. La racine naît près du sommet, dans une cellule de l'endoderme actuel, recouverte déjà par quatre à six assises de l'écorce externe. Cette cellule se cloisonne comme il a été dit pour la cellule mère de la radicelle (p. 375, fig. 397); les segments épidermiques s'y dédoublent aussi, excepté le plus externe (fig. 572). La jeune racine est soulevée par un pédicule péricyclique d'abord transversal, puis dirigé obliquement vers le sommet de la tige. L'assise sus-endodermique forme autour d'elle une poche simple; cette poche digère progressivement les quatre à six assises corticales externes qui la recouvrent (fig. 572). Pendant la croissance de la racine, l'écorce interne de la tige s'épaissit beaucoup, et chacune de ses assises semble se continuer dans une des assises de l'écorce de la racine; c'est un phénomène que nous avons constaté bien des fois déjà, surtout chez les Monocotylédones. L'endoderme de la racine se raccorde directement avec le manchon d'endoderme de la tige qui borde le pédicule (fig. 572).

Comme exemple de tige polystélique gamostèle, étudions le *Microlepia strigosa*. Sous une écorce épaisse et parenchyma-

teuse, limitée en dedans par un endoderme non dédoublé, et autour d'une écorce également parenchymateuse, limitée en dehors par un endoderme simple, la tige de cette plante a un anneau libéroligneux, ouvert çà et là pour le départ d'une stèle foliaire, qui provient de la fusion de stèles disposées en cercle. Cet anneau a un péricycle simple, çà et là double, en dehors et en dedans, une couche de liber en dehors et en dedans, et dans son milieu une zone ligneuse sans moelle. Au sommet, la tige ainsi construite croît par une cellule tétraédrique produisant trois séries de segments. Chaque segment prend d'abord deux cloisons tangentielles contemporaines, ou à peu près; la médiane des trois cellules ainsi formées constitue seule le cylindre central. L'interne, comme l'externe, produit l'écorce : d'où la forme annulaire du cylindre central et la double région occupée par l'écorce.

La racine naît près du sommet, dans une cellule de l'endoderme externe actuel; mais, comme le cloisonnement de l'écorce est rapide, cette cellule a déjà en dehors d'elle cinq ou six assises corticales. Elle se cloisonne comme il a été dit pour la cellule mère d'une radicelle (p. 373); le segment épidermique externe paraît y demeurer simple, tandis que tous les autres se dédoublent. Elle est soulevée par un pédicule péricyclique qui monte obliquement vers le sommet, bordé latéralement par l'endoderme et par les cellules qui résultent de la division ultérieure de la zone corticale interne. Elle digère directement, sans avoir de poche, du moins persistante, les assises corticales situées en dehors d'elle, et paraît enfin au dehors.

En dernier lieu, comme types de tige polystélique dialystèle, nous avons étudié les *Polypodium* (*P. vaccinifolium, vulgare, glaucum, menissifolium*), *Davallia* (*D. tenuifolia, canariensis*), *Pteris* (*P. longifolia*) et *Woodsia* (*W. hyperborea*).

La tige du *Polypodium vaccinifolium*, par exemple, a quatre stèles très étroites disposées en ellipse. Autour de chacune d'elles, l'endoderme s'est dédoublé en dedans de ses plisse-

ments, de sorte que l'assise plissée est devenue l'avant-dernière de l'écorce totale (fig. 573). Ces stèles manquent de péricycle; l'anneau libérien, interrompu de chaque côté, y forme deux arcs distincts; le bois y forme aussi deux faisceaux centripètes confluents au centre en une bande diamétrale étalée tangentiellement, et qui appuie directement ses vaisseaux externes contre l'endoderme dans les interruptions du liber (fig. 573).

Au sommet, la tige a une cellule tétraédrique dont les trois segments découpent une écorce en dedans et une écorce en dehors, comme dans le *Microlepia*. Mais, en outre, l'anneau formé par les cellules moyennes forme de l'écorce en quatre places, et ne produit de cylindre central que dans les intervalles : de là les quatre stèles indépendantes. La racine naît très près du sommet, dans une cellule de l'endoderme externe actuel et à une place correspondante à une stèle future. A ce moment, l'écorce, dont le cloisonnement est assez lent, n'a fait encore que dédoubler sa zone externe, de façon que la racine ne sera jamais recouverte que par deux assises. La cellule rhizogène se cloisonne comme il a été dit pour la cellule mère d'une radicelle (p. 374); les segments épidermiques s'y dédoublent. Elle demeure, pendant l'épaississement de l'écorce, reliée au cylindre central par un pédicule qui monte obliquement vers le sommet. La jeune racine comprime d'abord les deux assises corticales qui la recouvrent, en formant une proéminence hémisphérique, puis elle digère directement l'assise interne et refoule en forme de gaine l'assise externe ou exoderme, qu'elle perce finalement au sommet. En un mot, les choses se passent ici, sur la face externe de l'une des stèles, comme à la surface de la stèle unique des *Nephrolepis*.

Il en est de même dans le *Polypodium glaucum*, dont la tige a onze stèles binaires à endoderme dédoublé et sans péricycle; dans le *P. vulgare*, où elle a treize stèles semblables; dans le *Davallia canariensis*, où, sur dix stèles binaires à endoderme dédoublé, il y en a huit petites sans péricycle et

deux grosses pourvues d'un péricycle; dans les *Pteris longifolia* et *aquilina*, où les stèles, toutes munies d'un péricycle et d'un endoderme simple, ont leur protoxylème central, si elles sont rondes, disposé en deux groupes aux foyers de l'ellipse, si elles sont élargies en ruban; dans le *Woodsia hyperborea* (fig. 571), où les segments épidermiques nous ont paru demeurer tous simples, comme chez les *Trichomanes*, etc. On voit donc que, le plus souvent, chez les Polypodiacées, la jeune racine n'est recouverte que par deux assises corticales et dépourvue de poche digestive.

En résumé, que la tige des Fougères soit monostélique ou polystélique, et dans ce dernier cas gamostèle ou dialystèle, la racine latérale s'y fait toujours aux dépens d'une cellule de l'endoderme actuel, cellule qui demeure, à mesure que l'écorce s'épaissit autour d'elle, rattachée au cylindre central par un pédicule péricyclique plus ou moins long, suivant la précocité plus ou moins grande de la racine, dirigé d'ordinaire obliquement vers le sommet de la tige, et qui prend plus tard la structure caulinaire. Toujours très précoce, la racine n'a souvent, en dehors d'elle, que deux assises corticales, dont elle digère l'une, dont elle distend d'abord, puis perfore l'autre; quelquefois, cependant, sa précocité est un peu moindre, et elle a à traverser une couche d'écorce plus épaisse. Elle est souvent dépourvue de poche digestive, notamment chez les Polypodiacées; parfois elle a une poche simple (*Trichomanes, Lygodium*, etc.) ou épaisse (*Hymenophyllum*, etc).

L'origine des racines latérales des Fougères a été indiquée sommairement par M. Kny, dans le *Ceratopteris thalictroides*, en 1875 (1). « La cellule mère de la racine, dit-il, appartient à l'assise la plus externe du tissu fondamental, et n'est, par conséquent, recouverte en dehors que par le jeune épiderme. Si l'on considère les cellules qui la recouvrent comme étant la première assise de la coiffe, la racine est

(1) Kny, *Die Entwickelung der Parkeriaceen* (*Nova Acta*, XXXVII, 1875).

exogène » (*loc. cit.*, p. 48). L'auteur ne dit rien de la situation de la cellule rhizogène par rapport aux tissus intérieurs de la tige; il n'a pas vu qu'elle touche le cylindre central en dedans, et, par conséquent, appartient à l'endoderme actuel. D'autre part, il n'a pas remarqué que l'assise corticale externe qui la recouvre, et qu'il regarde comme l'épiderme, subit bientôt un dédoublement tangentiel, et que la jeune racine résorbe la plus interne des deux assises ainsi formées, ce qui ne permet pas de lui rattacher comme appartenant à sa coiffe cette assise externe, et de la regarder comme exogène.

Tout récemment, M. Lachmann a recherché l'origine des racines latérales chez diverses Fougères (1). Il a bien vu, notamment dans les stolons aphylles des *Nephrolepis*, que la racine se constitue très près du sommet, aux dépens de la moyenne des trois cellules issues du double cloisonnement tangentiel des segments primitifs. Mais il a fait l'erreur d'attribuer cette cellule au cylindre central, de la regarder comme l'origine commune du péricycle et de l'assise plissée, à laquelle il conserve le nom d'endoderme, bien qu'elle soit pour lui, ici comme dans la racine (voy. p. 381), l'assise externe du cylindre central. Il en résulte que la racine naît dans le péricycle, et que « l'origine des racines latérales des Fougères est la même que celle des racines latérales des Phanérogames » (*loc. cit.*, p. 137). Cette erreur de M. Lachmann s'explique aisément. On a vu, en effet, que, dans les stolons des *Nephrolepis*, qui ont fait le sujet principal des études de ce botaniste, l'endoderme, issu de la cellule moyenne des segments, subit un ou deux dédoublements en dedans de ses plissements. M. Lachmann a fait la faute d'attribuer au péricycle, de regarder même comme étant le péricycle tout entier, les assises ainsi formées en dedans des plissements; force lui a été ensuite d'attribuer aussi au péricycle l'assise à plissements elle-même, et, par conséquent, la cellule moyenne des segments,

(1) Lachmann, *Sur l'origine des racines latérales dans les Fougères* (*Comptes rendus*, CV, p. 135, 1887).

origine commune de ces diverses assises. En un mot, c'est le phénomène du dédoublement de l'endoderme, en dedans des plissements, que M. Lachmann a méconnu.

Il a commis une autre erreur, moins importante, il est vrai, en admettant que, dans les *Nephrolepis*, les Hyménophyllées, les *Odontoloma*, *Microlepia*, *Pteris*, *Asplenium*, *Adiantum*, etc., en un mot, dans le cas de beaucoup le plus fréquent, la jeune racine n'est recouverte que par une seule assise superficielle de la tige. On a vu que cette assise se dédouble constamment; il est vrai que l'assise interne est plus tard résorbée; mais cette résorption même est un fait intéressant, qui démontre l'endogénéité du membre. On a vu aussi que les *Hymenophyllum* n'appartiennent pas à cette catégorie, mais à la suivante.

M. Lachmann a bien reconnu, en effet, que, dans d'autres Fougères (*Athyrium*, *Aneimia*, Osmondacées, Cyathéacées) la jeune racine est recouverte par une couche plus ou moins épaisse du tissu cortical, qu'elle doit traverser pour paraître au dehors. Mais, dans ce cas, la présence et le rôle de la poche digestive lui ont échappé.

Hydroptérides (pl. XXXIX, fig. 574 579). — Chez les Hydroptérides, nous avons étudié l'origine des racines dans les *Marsilia*, parmi les Marsiliacées, et dans les *Azolla*, parmi les Salviniacées.

La tige des *Marsilia* est, comme on sait, polystélique gamostèle, c'est-à-dire qu'elle possède la même structure que celle des *Microlepia*. Dans le *M. Drummondii*, par exemple, l'écorce épaisse a sa zone moyenne creusée d'un cercle de lacunes aérifères, sa zone interne scléreuse, et se termine par un endoderme simple. Une autre portion d'écorce, tout entière scléreuse, à l'exception de l'endoderme qui la termine en dehors, est entourée par l'anneau stélique. Celui-ci se compose d'un péricycle simple en dehors et en dedans, d'un anneau de liber en dehors et en dedans, et d'un anneau de bois sans moelle. Au sommet, cette tige croît à l'aide d'une

cellule tétraédrique, saillante en forme de bouton, qui produit trois séries de segments. Chacun de ceux-ci découpe une cellule interne et une cellule externe pour les deux régions de l'écorce, la cellule moyenne constituant l'anneau stélique; puis, la cellule corticale externe prend une nouvelle cloison tangentielle qui isole les deux zones de l'écorce.

C'est dans une des cellules destinées à former la zone interne de l'écorce extérieure, dans un élément de l'endoderme externe actuel, par conséquent, que la racine prend naissance. A ce moment, la cellule superposée, destinée à la zone externe de l'écorce, est encore simple; mais elle se dédouble bientôt, et la jeune racine n'a jamais, en dehors d'elle, plus de deux assises. La cellule rhizogène se cloisonne comme il a été dit pour la cellule mère de la radicelle et pour la cellule terminale de la racine développée (p. 391, fig. 409-410); elle conserve aussi indivis tous ses segments épidermiques (fig. 574).

Pendant que l'écorce s'épaissit tout autour d'elle, elle demeure reliée au manchon stélique par un pédicule d'origine péricyclique, obliquement dirigé vers le haut, qui prend plus tard la structure caulinaire. Vers l'extérieur, elle fait une saillie de plus en plus forte, que les deux assises corticales externes recouvrent d'abord, en se dilatant et se cloisonnant transversalement. Ensuite, l'assise interne dissocie ses cellules, qui s'arrondissent, diminuent de volume et enfin disparaissent complètement (fig. 574). L'assise externe, ou exoderme, continue au contraire à s'étendre en forme de gaine, et ne se perfore au sommet que plus tard, pour laisser sortir la racine. Les choses se passent donc ici, dans tous les points essentiels, comme dans les Polypodiacées. Il n'y a pas de poche digestive. Au moment où la racine, après avoir digéré la seconde assise corticale, vient se mettre en contact avec l'exoderme, elle compte déjà, au-dessus de ses cellules basilaires, six ou sept assises de segments cortico-stéliques et autant de segments épidermiques, c'est-à-dire un épiderme de six ou sept assises (fig. 574).

La tige des *Azolla* est monostélique par réduction. Son

écorce, dépourvue de lacunes aérifères, se compose de cinq assises, dont les trois internes ont leurs éléments superposés en séries radiales. L'avant-dernière a ses cellules aplaties, munies, sur les faces latérales et transverses, d'une série de plissements lignifiés, qui se colorent par la fuchsine et par le vert d'iode; la dernière a ses cellules bombées vers l'intérieur et dépourvues de plissements (fig. 575). Ensemble, ces deux assises internes constituent un endoderme dédoublé en dedans des plissements, comme celui des *Nephrolepis*, des *Polypodium*, etc. Çà et là une cellule endodermique prend une seconde cloison extérieure à la première, mais encore en dedans des plissements, ce qui rend l'endoderme triple en ce point. L'assise sus-endodermique épaissit plus tard ses membranes sur la face interne, de manière à établir entre l'endoderme dédoublé et le reste de l'écorce une ligne de démarcation très accusée. On compte parfois huit, ordinairement neuf cellules endodermiques ainsi dédoublées, au pourtour du cylindre central; cinq correspondent alors à la face inférieure de la tige, quatre à sa face supérieure (fig. 575).

Le cylindre central, très étroit, renferme deux groupes de vaisseaux spiralés, composés chacun de trois vaisseaux disposés tangentiellement côte à côte, séparés l'un de l'autre au centre et latéralement par un seul rang de cellules, et correspondant, l'un à la face supérieure, l'autre à la face inférieure de la tige; les vaisseaux de la face supérieure sont plus étroits, ceux de la face inférieure plus larges; ces derniers peuvent se réduire à deux (fig. 575). Entre ces vaisseaux et l'endoderme s'étend une assise de cellules dans laquelle se distingue çà et là un tube criblé très étroit, directement appliqué contre l'endoderme, vis-à-vis d'une cloison endodermique; ces cellules sont donc libériennes ou conjonctives; il n'y a pas de péricycle (1).

Les feuilles et les bourgeons s'insèrent de chaque côté, vis-

(1) Dans la tige du *Salvinia natans*, où l'écorce est creusée d'un cercle de huit lacunes séparées par des murs rayonnants unisériés, l'endoderme se dédouble aussi en dedans de ses plissements et le cylindre central, un peu

à-vis des étroits rayons qui séparent les deux groupes de vaisseaux, les feuilles un peu au-dessus, attachant leurs vaisseaux sur le bord correspondant du groupe supérieur, les bourgeons un peu au-dessous, attachant leurs vaisseaux sur le bord correspondant du groupe inférieur. Les racines s'insèrent à la face inférieure, sur le groupe des vaisseaux les plus larges.

Au sommet, cette tige se termine par une cellule cunéiforme, qui produit, à droite et à gauche, deux séries de segments semi-circulaires superposés. Chacun de ces segments se divise d'abord radialement en deux, puis en quatre triangles; souvent l'un des octants inférieurs se dédouble de nouveau. Puis chaque octant ou nonant prend une cloison tangentielle rapprochée du centre, qui sépare le cylindre central de l'écorce. Ensuite, il s'y fait une seconde cloison tangentielle près de la périphérie, qui divise l'écorce en deux zones. La zone externe demeure simple et constitue directement l'exoderme. La zone interne prend d'abord une cloison tangentielle qui sépare en dedans l'endoderme; après quoi l'assise externe se dédouble, tandis que l'endoderme se dédouble plus tard de son côté, ce qui porte à quatre le nombre des assises de la zone interne, à cinq celui des assises de l'écorce totale, comme il a été dit plus haut.

Les racines latérales se forment sur la face inférieure de la tige, aux dépens de l'un ou de l'autre des deux octants médians de cette face, à côté des bourgeons qui procèdent des deux octants latéraux de cette même face. Elles sont donc disposées en deux séries, très rapprochées du côté de la ligne médiane de la face inférieure. Elles apparaissent très près du sommet, après la séparation du cylindre central et de l'exoderme, dans une des cellules encore indivises destinées à produire la zone corticale interne, cellules qui constituent, non pas encore l'endoderme définitif, mais déjà l'endoderme

moins étroit que dans les *Azolla*, est également dépourvu de péricycle.

Par le dédoublement de l'endoderme et l'absence de péricycle, la tige monostélique des Salviniacées ressemble donc à la tige polystélique des *Polypodium*, ou à la racine des *Equisetum*.

actuel. En dehors de la cellule rhizogène, la zone corticale externe, qui demeure simple partout ailleurs, se dédouble tangentiellement et prend deux assises.

La cellule rhizogène se divise d'abord par trois cloisons qui convergent vers l'intérieur; elle sépare ainsi trois cellules basilaires et une cellule tétraédrique. Celle-ci prend d'abord une cloison parallèle à sa face externe bombée, qui découpe un segment épidermique, puis trois cloisons parallèles aux faces planes, qui découpent trois segments cortico-stéliques; ensuite il se fait de nouveau trois cloisons parallèles aux faces planes, puis trois autres, et ainsi de suite, mais il ne se forme plus jamais de cloisons parallèles à la face courbe; l'épiderme se réduit donc à son premier segment (fig. 576). Ce segment se dédouble d'ailleurs, comme chez la plupart des Fougères, et donne deux calottes de calyptre. Les segments cortico-stéliques prennent d'abord une cloison tangentielle qui sépare la zone corticale externe, laquelle se dédouble bientôt; puis il s'y fait, vers l'intérieur, une seconde cloison tangentielle qui découpe le cylindre central; ensuite une cloison extérieure à celle-ci sépare l'endoderme, dont les cellules aplaties prennent plus tard les plissements caractéristiques. En un mot, la marche du cloisonnement tangentiel est ici la même que chez les Marsiliacées, la même aussi que chez les Polypodiacées. La seule différence est que, dans les *Azolla*, les deux zones de l'écorce ne prennent, l'une et l'autre, qu'une seule cloison tangentielle, de sorte que l'écorce totale ne comprend que quatre assises.

Pendant que la zone corticale interne de la tige s'épaissit tout autour d'elle et se divise en quatre assises, la jeune racine se trouve maintenue près de la périphérie, où elle fait une saillie de plus en plus forte dirigée obliquement vers le sommet de la tige (fig. 576). Les deux assises corticales externes suivent d'abord toutes deux la croissance du mamelon en cloisonnant transversalement leurs cellules; mais bientôt l'assise interne est progressivement résorbée, et la racine vient s'appliquer intimement contre l'assise périphérique

(fig. 576). Celle-ci continue de suivre la croissance de la racine jusqu'à ce qu'elle ait atteint une longueur d'environ un millimètre. Elle se rompt alors circulairement vers son milieu et se divise en deux parties : l'une, en forme de bonnet, est entraînée par la racine dont elle recouvre quelque temps le sommet et se détache plus tard ; l'autre demeure en forme de manchette autour de sa base (fig. 577). A ce moment, les deux assises de l'épiderme sont encore fixées à la base. Plus tard, elles s'y détachent, l'externe d'abord, l'interne ensuite. L'externe se dilate beaucoup et s'écarte de la racine, à laquelle elle ne demeure adhérente qu'au sommet, où elle est formée de cellules beaucoup plus hautes; elle coiffe donc la racine comme d'un éteignoir (fig. 578). L'interne demeure adhérente à l'organe dans toute son étendue; elle est auss plus épaisse au sommet, où ses cellules prennent parfois une cloison tangentielle (fig. 579). La cellule terminale de la racine récemment sortie est donc recouverte par trois assises de cellules : le bonnet de la gaine et les deux calottes de la calyptre, formant ensemble une coiffe hétérogène. Bientôt le bonnet de gaine disparaît et la coiffe se réduit à la calyptre. La croissance de la racine est d'ailleurs de courte durée. Quand elle est terminée, les deux calottes de la calyptre tombent et mettent à nu l'exoderme, qui se prolonge alors, même au sommet, en poils absorbants (1).

En résumé, les racines des *Azolla* prennent naissance dans la tige de la même manière que celles de la plupart des Polypodiacées, des Marsiliacées, etc. Leur caractère propre, c'est l'avortement de l'épiderme, à l'exception de son premier segment, caractère qui est en relation à la fois avec la faible durée de la croissance terminale du membre et avec la végétation aquatique de la plante. C'est une exception du même ordre que celle qui nous a été offerte, chez les Monocotylédones, par les *Lemna* et *Hydrocharis*, plantes où également

(1) Voy. sur ce point : Ph. Van Tieghem, *Traité de botanique*, 2e édition, p. 195, fig. 59, 1888.

l'épiderme se sépare d'abord, mais sans s'épaissir désormais, circonstance qui est, ici aussi, en rapport avec la courte durée de la croissance et le mode aquatique de végétation.

La structure définitive de la racine ainsi formée est très simple. L'écorce comprend quatre assises, savoir : l'endoderme, formé de six cellules plates, munies de plissements lignifiés sur leurs faces latérales et transverses, et dédoublé en dedans des plissements; l'assise sus-endodermique, composée de six grandes cellules superposées à celles de l'endoderme; une assise de neuf grandes cellules, dont trois correspondent à trois des précédentes et les six autres par paires aux trois autres; enfin, l'exoderme formé de très petites cellules. Le cylindre central, dépourvu de péricycle, a deux faisceaux ligneux confluents réduits chacun à un seul vaisseau appuyé contre l'endoderme dédoublé; il a aussi deux faisceaux libériens, réduits chacun à un petit tube criblé accolé à l'intervalle de deux cellules endodermiques et séparé des vaisseaux par un rang de petites cellules conjonctives.

Dans son beau mémoire sur le genre *Azolla*, M. Strasburger a fait connaître la structure de la tige et la formation des racines latérales de ces plantes (1). Sur beaucoup de points, nos observations sont d'accord avec les siennes; sur d'autres, dont quelques-uns ont de l'importance, elles nous conduisent à des résultats différents. Ainsi, M. Strasburger n'a pas aperçu les plissements lignifiés qui caractérisent l'avant-dernière assise corticale; il ne les a pas vus davantage dans la racine (*loc. cit.*, p. 48). Ce point de repère lui faisant défaut, on comprend qu'il se soit mépris sur la limite du cylindre central, limite qu'il place en dehors de l'assise plissée, à la ligne où l'écorce épaissit plus tard ses membranes; il attribue ainsi au cylindre central deux et même par places trois assises de trop, assises qui, pour lui, constituent un péricycle (péricambium) (*loc. cit.*, p. 28). Cette erreur en entraîne une autre. La cellule rhizogène, dans laquelle, comme on l'a vu, la

(1) Strasburger, *Ueber Azolla*, Iena, 1873, p. 44.

cloison séparatrice de l'endoderme, c'est-à-dire, pour M. Strasburger, du cylindre central, ne se fait pas, appartient, d'après lui, à la fois au cylindre central et à l'écorce. S'il en était ainsi, l'origine de la racine des *Azolla* serait toute différente de celle des *Marsilia* et des autres Filicinées. Il y a là une erreur du même genre que celle qui a été commise quinze ans plus tard par M. Lachmann pour les Fougères.

M. Strasburger regarde comme des vaisseaux, et même comme les vaisseaux les premiers formés, les quelques éléments qui occupent l'axe du cylindre central, éléments que nous avons vus rester à l'état de parenchyme; il en résulte que pour lui les vaisseaux ne forment qu'un seul paquet, tandis que pour nous ils forment deux groupes séparés. Mais ce n'est là qu'un point sans importance, et, d'ailleurs, certaines des figures de M. Strasburger montrent ces cellules centrales restées parenchymateuses (*loc. cit.*, fig. 24, 60, etc.).

D'après M. Strasburger, l'unique segment épidermique de la racine ne se découperait qu'après la formation de plusieurs assises de segments internes (p. 46); nous l'avons toujours vue se former immédiatement après la séparation des cellules basilaires, avant la séparation de la première assise de segments triangulaires, c'est-à-dire au moment même où se découpe le premier segment épidermique chez les autres Filicinées.

A part ces quelques points qui, à notre avis, sont à rectifier, les observations de M. Strasburger conservent toute leur valeur. Le premier, ce botaniste a aperçu la véritable succession des cloisons tangentielles au sommet de la racine. Mais, trop confiant dans l'exactitude des observations de MM. Nägeli et Leitgeb, il a cru que ce mode de succession est particulier aux *Azolla*, qui, par là, s'éloignent pour lui des autres Filicinées, tandis que, en réalité, ces plantes se comportent, sous ce rapport, comme les autres Filicinées.

II. — ÉQUISÉTINÉES.

Équisétacées (pl. XL, fig. 580-581). — M. de Janczewski et M. Famintzine ont démontré, en 1876, chacun de son côté, que les bourgeons verticillés qui se développent dans les *Equisetum* en alternance avec les feuilles sous-jacentes, sont exogènes et non endogènes, comme il était admis jusqu'alors. En même temps, M. de Janczewski a fait voir que les racines latérales de ces plantes, qui naissent en verticille aux nœuds de la tige en alternance avec les feuilles, comme les bourgeons eux-mêmes, et au-dessous d'eux, procèdent non de la tige, mais chacune directement de la face inférieure du bourgeon superposé. Elles appartiennent donc aux bourgeons, non à la tige; ce sont, en un mot, des racines gemmaires, comme celles des Crucifères et du *Ficaria* chez les Dicotylédones, comme celles des Ophrydées chez les Monocotylédones.

Au sujet de l'origine de la racine dans le bourgeon, M. de Janczewski s'exprime en ces termes : « Généralement il est impossible de constater la présence de la cellule mère d'une racine avant que la première gaine se soit dessinée. Quand celle-ci est ébauchée, une certaine cellule, située dans sa base, immédiatement au-dessous de la surface, se gorge de protoplasma, acquiert un volume bien plus considérable que celui des voisines, devient une véritable cellule mère de racine, et commence aussitôt à jouer le rôle de cellule génératrice de cet organe » (*loc. cit.*, p. 89). L'auteur ne paraît pas s'être posé la question de savoir si la racine est exogène ou quelque peu endogène par rapport au bourgeon dont elle procède. Le passage cité ne permet pas de décider la chose, et l'examen des figures laisse aussi dans le doute à cet égard; car si, dans la figure 9 de la planche I, la cellule mère de la racine avec son premier segment épidermique est tout à fait superficielle, dans les figures 8 et 10 de la planche I, dans les figures 2 et 4 de la planche II, elle est recouverte par un rang de petites cellules dont on ne peut dire si elles appartiennent au bourgeon ou à la racine.

Pour résoudre le problème, il fallait remonter, vers la première origine de la racine, plus haut que ne l'a fait M. de Janczewski. Nous nous y sommes appliqués et nous croyons avoir réussi, notamment dans l'*Equisetum palustre*, à établir la filiation de la cellule rhizogène avec la cellule mère du bourgeon.

La figure 580, planche XL, montre, dans une coupe longitudinale axile de la tige, en *m* la cellule mère d'un bourgeon à son premier état au fond de la fente qui sépare le dos d'une feuille, dans la gaine supérieure, du sillon de séparation de deux feuilles, dans la gaine inférieure. Deux nœuds plus bas, on voit la même cellule mère du bourgeon agrandie et cloisonnée. Elle est devenue un peu convexe vers le haut, mais surtout elle s'est développée beaucoup vers le bas et vers l'extérieur. De ce côté inférieur, elle a pris une cloison horizontale et découpé son premier segment. Celui-ci s'est partagé en deux par une cloison verticale, puis sa moitié externe s'est dédoublée par une cloison horizontale, et la partie inférieure de la cloison verticale a été refoulée obliquement en dedans. La moitié inférieure de la cellule externe du segment se divise ensuite par une ou deux cloisons verticales, et c'est la plus externe des deux ou trois cellules ainsi formées qui est destinée à produire la racine.

Par trois cloisons obliques convergeant vers l'intérieur, elle découpe bientôt trois cellules basilaires, qui comprennent une cellule tétraédrique. Celle-ci forme d'abord un premier segment externe épidermique, puis trois segments internes cortico-stéliques, puis un second segment épidermique, et ainsi de suite (fig. 581). La racine s'édifie ainsi peu à peu, s'allonge obliquement vers le bas et vers l'extérieur, digère à mesure toute l'épaisseur de la région basilaire de la gaine inférieure qui la recouvre et paraît enfin au dehors (fig. 581). Souvent, elle s'arrête, comme on sait, dans sa croissance, et demeure incluse jusqu'à ce que des circonstances favorables lui permettent de s'allonger de nouveau.

Bien que profondément enfoncée dans le tissu de la gaine

inférieure, qui proémine vers le haut et se soude, comme on sait, avec l'entre-nœud supérieur de la tige, de manière à enfermer le jeune bourgeon (fig. 580), la cellule mère de la racine procède donc directement du premier segment de la cellule mère du bourgeon, et de la périphérie de la partie inférieure de la moitié externe de ce segment. La racine est donc exogène par rapport au bourgeon, comme le bourgeon lui-même est exogène par rapport à la tige. Elle n'est endogène que par rapport à la gaine inférieure, qu'elle perce vers le bas, comme le bourgeon lui-même est endogène par rapport à cette gaine qui le recouvre vers le haut.

Les racines latérales des *Equisetum* sont donc des racines gemmaires, ce qui était acquis, et ces racines gemmaires sont exogènes, ce qui est un résultat nouveau. A ce double titre, elles ne rentrent pas dans le cadre de ce travail, et nous ne nous y arrêterons pas davantage.

III. — LYCOPODINÉES.

Sélaginellées. — On sait que la tige des *Selaginella* produit çà et là un bourgeon très près du sommet, et se ramifie en fausse dichotomie. A droite et à gauche du bourgeon, il se fait de bonne heure une racine, qui procède de sa base, qui est, par conséquent, gemmaire. Ces deux racines gemmaires, dont une seule se développe ordinairement, tandis que l'autre avorte, prennent naissance dans une cellule périphérique de la base du bourgeon; elles sont exogènes, comme les racines gemmaires des *Equisetum*, comme celles des Phanérogames. L'épiderme, et par conséquent la coiffe, y avorte quelquefois (*S. Martensii*, *Kraussiana*, etc.), comme nous avons vu qu'il avorte dans la racine des *Pontederia* et du *Pistia*, circonstance qui paraît liée ici, comme elle l'était là, à la faible durée de la croissance terminale du membre. On sait, en effet, que c'est surtout par une forte croissance intercalaire que les racines des *Selaginella* acquièrent leur longueur définitive. Quoi qu'il en soit, puisqu'elles sont gemmaires et exogènes, les racines

latérales des *Selaginella* ne doivent pas ici nous arrêter plus longtemps (1).

Dans les *Lycopodium* et les *Isoetes*, les racines naissent, au contraire, directement dans la tige, au voisinage du sommet; elles sont endogènes, et nous avons à en rechercher le mode de formation.

Lycopodiées (pl. XL, fig. 582). — La tige du *Lycopodium inundatum*, que nous avons principalement étudié sous ce rapport, a une écorce un peu lacuneuse, composée de douze à quinze assises, dont la plus interne, qui est l'endoderme, porte à un certain moment des plissements lignifiés sur les faces latérales et transverses. Plus tard, la lignification envahit totalement ces parois ainsi que la face externe, puis se répand sur l'avant-dernière assise. Le cylindre central a un péricycle simple, cinq ou six faisceaux ligneux très larges en dehors, brusquement rétrécis en forme de T, confluents en étoile au centre, et autant de faisceaux libériens étroits, alternes avec les faisceaux ligneux auxquels ils sont unis par une assise de cellules conjonctives.

Au sommet, cette tige a une ou deux initiales communes qui se cloisonnent, transversalement pour accroître le cylindre central, et latéralement pour accroître l'écorce. Les segments latéraux prennent bientôt une cloison tangentielle; la cellule externe produit en se divisant la zone corticale externe avec l'exoderme; l'autre donne en se cloisonnant la zone corticale interne avec l'endoderme.

La racine naît sur la face inférieure de la tige, très près du sommet, et se dirige, à travers l'écorce, obliquement vers le haut (2), de sorte que c'est par des coupes longitudinales axiles

(1) Pour l'origine et la structure des racines des *Selaginella*, voy. Nägeli et Leitgeb, *loc. cit.*, p. 124, 1868. — Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 88, 1871). — Treub, *loc. cit.*, p. 11, 1876. Les racines sans coiffe ont été considérées par MM. Nägeli et Leitgeb, et plus tard par M. Treub, comme étant de nature caulinaire, comme des branches *porte-racines* (Wurzelträger).

(2) Quelquefois, après s'être dirigée obliquement vers le sommet, elle change brusquement de direction et se dirige obliquement vers la base.

perpendiculaires à la face ventrale qu'il faut en étudier les divers états. Pour la produire, un certain nombre de cellules appartenant à la périphérie du cylindre central, c'est-à-dire au péricycle, s'accroissent suivant le rayon et prennent une première cloison tangentielle, qui sépare en dedans le cylindre central. Puis, les cellules externes se divisent à leur tour par une cloison tangentielle, qui n'intéresse que les cellules médianes et isolent ainsi l'épiderme et l'écorce; les cellules indivises constituent l'épistèle. Le mamelon ainsi formé est recouvert par quatre ou cinq assises corticales dont la plus interne est l'endoderme actuel. A mesure que l'écorce interne de la tige s'épaissit autour de ses flancs, il se maintient à la même distance de la périphérie et demeure relié au cylindre central par un pédicule produit par l'élongation de la base du cylindre central et de l'épistèle. Plus tard, quand l'endoderme passe à l'état définitif et prend ses plissements, il revêt ce pédicule et en même temps recouvre tout le mamelon radical élargi et faiblement convexe qui le termine (fig. 582). C'est même ce revêtement complet de la racine par l'assise des cellules plissées de la tige qui en montre le mieux l'origine péricyclique.

A mesure que le mamelon s'accroît, ses trois régions se cloisonnent. Son épiderme, remarquable par la grandeur de ses cellules, prend quelques cloisons tangentielles centripètes autour de l'extrémité aplatie et chaque assise ainsi formée se dédouble à son tour une ou plusieurs fois. Son écorce, pourvue d'abord d'un rang de deux initiales, en divise les segments à plusieurs reprises par des cloisons tangentielles. Son cylindre central a au sommet une ou deux initiales, dont les segments se divisent latéralement et vers le bas. En même temps la racine fait à la surface de la tige une proéminence assez large et de plus en plus marquée. D'abord l'endoderme et les assises corticales externes suivent sa croissance en prenant quelques cloisons radiales (fig. 582); mais bientôt elles sont progressivement attaquées, dissociées, gélifiées et finalement dissoutes et digérées. L'exoderme résiste davantage et revêt encore

quelque temps le mamelon; puis il est détruit autour du sommet et la racine paraît au dehors. Il n'y a donc pas ici de poche digestive.

Au moment de la sortie, l'épiderme de la racine compte, au sommet devenu conique, douze à quinze assises d'épaisseur. Pour les former, il n'a pris il est vrai qu'un petit nombre de cloisons tangentielles et n'en prendra plus guère par la suite, mais chaque calotte primitive ainsi découpée s'est dédoublée ensuite plusieurs fois. Les calottes externes sont en voie de dissociation ; la calotte la plus interne au contraire est encore en voie de dédoublement. L'assise la plus interne de l'épiderme paraît désormais indépendante de la calyptre, qu'elle a pourtant produite. Plus tard, pendant que les calottes externes s'exfolient, cette assise épidermique interne, dont les grandes cellules sont d'abord allongées suivant le rayon, demeure adhérente à l'écorce et constitue l'assise pilifère. Dès avant la sortie, ses cellules inférieures, mises à nu par le glissement des calottes externes, s'allongent çà et là en poils, qui plongent dans le liquide produit par la digestion des assises corticales externes et l'absorbent.

Au même moment, l'écorce de la racine s'est divisée progressivement huit à dix fois vers la base où elle se prolonge dans l'épistèle, laquelle à son tour paraît continue tout autour avec l'écorce interne de la tige. Elle était terminée au début, comme il a été dit, par un rang d'une ou deux initiales; mais ces initiales ont pris maintenant une ou deux cloisons tangentielles (fig. 582), de sorte que l'écorce passe au-dessus du sommet du cylindre central avec deux ou trois rangs de cellules. La cessation du cloisonnement tangentiel de l'épiderme, d'une part, le cloisonnement tangentiel des initiales de l'écorce, de l'autre, sont deux faits connexes, liés tous deux à la prochaine cessation de la croissance terminale de la racine. On sait, en effet, que c'est surtout par une forte croissance intercalaire que la racine des *Lycopodium* atteint sa longueur définitive. Aussi n'est-il pas rare de rencontrer une racine encore incluse dans l'écorce, n'ayant pas même encore

commencé à en digérer les assises externes et déjà dichotomisée au sommet.

Enfin le cylindre central de la racine sortante a ordinairement deux initiales au sommet et se continue à la base à travers le pédicule jusqu'à son insertion sur le cylindre central de la tige.

Cette insertion s'opère en un point déterminé et avec une orientation constante. Bien que née avant la différenciation interne du cylindre central de la tige, la racine se différencie, en effet, en corrélation étroite avec la tige. D'abord, si l'on suit le pédicule dans sa marche oblique descendante à travers l'écorce, on le trouve toujours situé en face d'un faisceau libérien, auquel il vient en définitive se rattacher. L'arc rhizogène se pose donc dans le péricycle en face de la place où se formera plus tard un faisceau libérien. On sait que la racine du *L. inundatum* a, dans son cylindre central, deux faisceaux ligneux unis en une bande ployée en forme de fer à cheval, avec un seul faisceau libérien logé dans la concavité de l'arc. L'endoderme, dont les plissements se voient bien avant la lignification totale de la paroi, confine directement à l'arc ligneux, tandis qu'en dehors du faisceau libérien il laisse quelques cellules ordinaires formant un péricycle incomplet. Cette structure bilatérale doit être regardée comme due à l'avortement de l'un des deux faisceaux libériens dans la structure binaire normale. Le pédicule conserve dans toute sa longueur et jusqu'à son insertion cette structure de la racine; il est donc de nature radicale et non de nature caulinaire comme dans les *Nephrolepis*, par exemple. Cette différence tient précisément à ce qu'ici la racine est d'origine péricyclique, tandis qu'elle est d'origine corticale chez les *Nephrolepis*. Dans son trajet oblique à travers l'écorce, la racine tourne toujours en haut et en dedans son faisceau libérien ; à l'insertion même, ce faisceau se raccorde directement avec celui de la tige auquel il correspond, tandis que les deux faisceaux ligneux se raccordent, chacun de son côté, avec les deux faisceaux ligneux voisins. On en conclut que c'est le faisceau libé-

rien inférieur et externe qui a avorté dans la racine; si cet avortement n'avait pas lieu, les deux faisceaux ligneux feraient ensemble une bande diamétrale disposée horizontalement, c'est-à-dire perpendiculairement aux faisceaux ligneux de la tige.

Même structure de la tige, même mode de formation, même structure et même orientation de la racine dans le *Lycopodium Selago*, avec cette différence qu'ici les racines se forment tout autour de la tige dressée, et qu'au lieu de remonter lentement vers le sommet, elles s'incurvent brusquement vers le bas, pour descendre ensuite verticalement dans l'écorce, qu'elles digèrent dans toute sa longueur et dont elles ne s'échappent qu'au niveau du sol.

M. Bruchmann a étudié la formation des racines dans la tige du *Lycopodium inundatum* (1). Nos résultats diffèrent des siens en plusieurs points. D'abord, en ce qui concerne la croissance terminale de la tige, il admet que le cylindre central d'une part, l'écorce de l'autre, avec l'épiderme qui n'en est que l'assise la plus externe, ont au sommet une ou plusieurs initiales propres. Il reconnaît bien que ces deux groupes d'initiales sont très difficiles à distinguer (*loc. cit.*, p. 531). A notre avis, cela vient de ce qu'en réalité ils ne sont pas distincts et que les deux régions dérivent au sommet d'une ou deux initiales communes. C'est aussi l'opinion à laquelle s'est arrêté récemment M. Strasburger, au sujet du *Lycopodium Selago* (2).

D'après M. Bruchmann, la racine procède d'un groupe de cellules corticales de la tige, faiblement convexe en dehors et appuyé en dedans contre le cylindre central; ces cellules se cloisonnent d'abord en tous sens, puis se différencient progressivement en donnant d'abord le cylindre central, puis l'écorce, composée dès le début de quatre assises autour du sommet du cylindre, et enfin l'épiderme calyptrogène. Pour

(1) Bruchmann, *Ueber Anlage und Wachsthum der Wurzeln von Lycopodium und Isoetes* (*Jenaische Zeitschrift*, VIII, p. 527, 1874).

(2) Strasburger, *Das botanische Practicum*, 2e édit., p. 241, fig. 96, 1888.

nous, la racine procède du péricycle et n'a tout d'abord qu'un seul rang d'initiales pour l'écorce.

Notons encore que l'auteur n'a pas aperçu les plissements de l'endoderme dans la tige, et que dans la racine il en nie formellement (p. 545) l'existence, déjà signalée par l'un de nous en 1871 (1). Cette existence n'en est pas moins certaine. Elle a été reconnue, d'ailleurs, par M. Treub (2) chez le *Lycopodium Hippuris*, en 1876, c'est-à-dire postérieurement au travail de M. Bruchmann.

Isoétées (pl. XL, fig. 583). — Considérons maintenant les *Isoetes*. On sait que la tige de ces plantes a un cylindre central très étroit, d'où partent en des points rapprochés les faisceaux foliaires, et que le péricycle s'y cloisonne tangentiellement de très bonne heure et très abondamment pour former en dehors une couche fort épaisse de parenchyme centripète, en dedans une couche mince centrifuge, principalement formée de vaisseaux spiralés. Avant de produire ainsi des tissus secondaires, le péricycle commence à former les racines latérales. Les arcs rhizogènes s'établissent en quatre places rapprochées deux par deux, chaque paire correspondant sans doute à l'un des deux faisceaux ligneux de la racine terminale et de la tige hypocotylée. Il en résulte que la disposition des racines est quadrisériée diplostique, comme dans une tige hypocotylée binaire de Dicotylédone ou de Gymnosperme.

Les cellules de l'arc rhizogène s'accroissent radialement, puis se divisent toutes par une première cloison tangentielle pour séparer en dedans le cylindre central; après quoi, l'assise externe prend une nouvelle cloison tangentielle et isole l'écorce et l'épiderme; mais cette seconde cloison n'intéresse pas les cellules externes de l'arc, qui forment l'épistèle, ici peu développée. Les trois régions ainsi séparées s'accroissent ensuite et se cloisonnent rapidement (fig. 583).

L'épiderme, notamment, accroît radialement ses cellules et

(1) Ph. Van Tieghem, *Mémoire sur la racine* (*loc. cit.*, p. 84, 1871).

(2) Treub, *loc. cit.*, p. 61, 1876.

les divise progressivement par des cloisons tangentielles centripètes. Ce cloisonnement commence au sommet, progresse ensuite vers la base, et, comme les cellules basilaires internes continuent à s'accroître en épaisseur, il se propage dans toutes les assises jusqu'à la base même. A une ou deux près, l'épiderme a donc à la base tout autant d'assises qu'au sommet, disposition que nous avons déjà rencontrée çà et là chez les Phanérogames, surtout chez les Gymnospermes.

Pendant que la racine s'accroît ainsi, la formation, tout autour d'elle, de l'épaisse couche de parenchyme secondaire rappelée plus haut, la refoule de plus en plus vers l'extérieur et vers le bas; elle demeure toutefois reliée à la partie centrale par un long pédicule oblique, provenant de la croissance intercalaire de l'épistèle et de la base du cylindre central qu'elle recouvre. Pour paraître au dehors, elle n'a à traverser que la couche d'écorce primaire qui la recouvrait à l'origine. Il ne semble pas que cette traversée se fasse par digestion, car on voit toujours l'assise externe de l'épiderme en contact direct avec la rangée corticale interne inaltérée. Mais peu à peu, la zone corticale externe, repoussée par le parenchyme secondaire, dilate ses cellules, les dissocie et les exfolie; c'est alors que la racine est mise passivement à nu et qu'elle s'allonge au dehors. Il n'y a donc ici, paraît-il, ni poche digestive, ni digestion.

A la sortie, l'épiderme de la racine de l'*Isoetes lacustris*, par exemple, espèce sur laquelle ont été faites la plupart de nos observations, compte une dizaine d'assises aussi bien à la base qu'au sommet; la plus interne, génératrice des assises ultérieures, a ses cellules plus hautes que chez les Phanérogames. Son écorce, terminée par une initiale, a huit assises à la base. Son cylindre central, relativement étroit, se termine par trois cellules, dont la médiane seule est une initiale. A ce moment, la racine ne manifeste parfois encore aucune trace de dichotomie et ressemble à une racine de Dicotylédone. Mais d'autres fois, dès avant la sortie, le cylindre central s'est bifurqué à l'extrémité, l'écorce a suivi cette dichotomie, et l'assise épi-

dermique interne a contourné les deux sommets, qu'elle recouvre désormais individuellement de ses nouvelles assises, constituant ainsi à chaque branche une calyptre particulière sous la calyptre commune. Après la sortie, les calottes externes de l'épiderme s'exfolient progressivement; mais l'assise la plus interne, mise à nu, demeure adhérente à l'écorce et devient l'assise pilifère.

M. Bruchmann a étudié chez l'*Isoetes lacustris*, dans la plantule issue du développement de l'œuf, d'abord la formation de la racine terminale, qui est exogène, puis celle de la première racine latérale, qui apparaît bientôt après aux dépens de la seconde assise corticale, qui est endogène par conséquent, mais faiblement (*loc. cit.*, p. 552, 1874). Cette exogénéité et cette très faible endogénéité sont en rapport avec l'extrême précocité de ces racines. Néanmoins, comme dans les racines moins précoces, plus profondes et péricycliques, que nous venons d'étudier dans la plante adulte, M. Bruchmann a trouvé les trois régions de la racine distinctes dès le début et croissant ensuite séparément. Il attribue à ces deux premières racines deux assises d'initiales corticales, une pour la zone externe de l'écorce, l'autre pour la zone interne, assises qu'il retrouve au sommet des racines dichotomes de la plante adulte. Nous n'en avons vu qu'une seule dans les racines encore incluses dans l'écorce de la tige adulte, et nous n'en avons également trouvé qu'une seule à l'extrémité des racines dichotomes en voie de croissance dans le milieu extérieur.

En résumé, les racines des *Lycopodium* et des *Isoetes* non seulement croissent au sommet à l'aide de trois sortes d'initiales distinctes pour leurs trois régions, mais naissent dans le péricycle de la tige par la croissance radiale et le double cloisonnement tangentiel d'un arc rhizogène. Les plantes de ces deux genres sont donc à la fois triacrorhizes et péricyclorhizes, tout aussi bien pour leurs racines que pour leurs radicelles (p. 402, note). Par ces deux caractères, elles s'éloignent de toutes les autres Cryptogames vasculaires, et

en même temps se rapprochent des Phanérogames. Comme, d'autre part, l'assise interne de l'épiderme y demeure adhérente à l'écorce pour constituer l'assise pilifère, c'est du côté des Gymnospermes et des Dicotylédones qu'elles se rattachent aux Phanérogames, non du côté des Monocotylédones ; en un mot, elles sont climacorhizes, non liorhizes.

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE DES CRYPTOGAMES VASCULAIRES ET COMPARAISON AVEC LES PHANÉROGAMES.

En somme, on voit qu'au point de vue de l'origine et du développement des racines latérales endogènes, les Cryptogames vasculaires se répartissent en deux groupes distincts : d'une part les Filicinées, de l'autre les *Lycopodium* et les *Isoetes*. Les *Equisetum* et les *Selaginella* ne produisent que des racines gemmaires, exogènes.

Dans le premier groupe, la racine se forme dans l'assise la plus interne de l'écorce au moment considéré, c'est-à-dire dans l'endoderme actuel ; elle est d'origine corticale. Elle se constitue aux dépens d'une seule cellule mère, qui demeure entière en se cloisonnant, de manière à produire une initiale commune. En un mot, les Filicinées sont monacrorhizes et endodermorhizes.

Dans le second, la racine se forme dans l'assise la plus externe du cylindre central, c'est-à-dire dans le péricycle ; elle est d'origine stélique. Elle se constitue aux dépens d'une plage de cellules qui se cloisonnent deux fois totalement, de manière à produire trois sortes d'initiales. En un mot, les *Lycopodium* et les *Isoetes* sont triacrorhizes et péricyclorhizes.

Si nous comparons, sous ce rapport, ces deux groupes aux Phanérogames, nous voyons que le second leur ressemble de tout point, tandis que le premier en diffère précisément autant qu'il diffère du second. Il y a, en un mot, deux types de formation et de croissance des racines chez les plantes vasculaires. Si nous divisons les plantes vasculaires, d'après le mode

d'origine et de croissance de leurs racines, en deux grands groupes : les triacrorhizes ou péricyclorhizes, et les monacrorhizes ou endodermorhizes, le premier comprend les Phanérogames, plus les *Lycopodium* et les *Isoetes;* le second renferme les Cryptogames, moins les *Lycopodium* et les *Isoetes.* Par le mode de naissance de leurs racines exogènes, les *Equisetum* et les *Selaginella* se rattachent, en effet, au second groupe, non au premier.

D'autre part, si, d'après le mode de desquamation de l'épiderme de la racine, nous divisons les plantes vasculaires en deux groupes : les climacorhizes et les liorhizes, le premier comprend les Dicotylédones, moins les Nymphéacées, les Gymnospermes, les *Lycopodium* et les *Isoetes ;* le second renferme les Monocotylédones, plus les Nymphéacées, et les Cryptogames, moins les *Lycopodium* et les *Isoetes.*

Comparaison de l'origine des radicelles et des racines latérales.

Si nous comparons maintenant les résultats généraux obtenus par l'étude des racines dans la seconde partie de ce travail avec ceux que nous avons acquis par l'étude des radicelles dans la première partie (p. 402 et suiv.), nous y constatons la plus grande ressemblance.

Dans une plante donnée, les racines prennent naissance dans la tige, s'y accroissent et sont constituées au moment de la sortie, comme les radicelles dans la racine. Et cette analogie se retrouve non seulement dans tous les caractères importants, mais même dans des propriétés secondaires. On a vu, par exemple, que les mêmes Dicotylédones qui font leurs radicelles sans poche digestive produisent également sans poche digestive leurs racines latérales. Il y a bien çà et là quelques différences, mais elles sont tellement faibles qu'il est inutile d'y insister. Aussi toutes les considérations générales, tous les groupements, toutes les exceptions même, éta-

blis dans l'étude des radicelles, se sont-ils retrouvés tels quels dans l'étude des racines latérales.

Mais, si tout est pareil du côté du membre produit, les différences sont assez grandes du côté du membre générateur, en rapport avec la nature différente de ce membre, qui est ici une tige, là une racine. Ce sont précisément ces différences qui rendent nécessaire l'étude directe et comparative de l'origine des racines dans la tige, à laquelle nous venons de nous livrer. Ce sont elles aussi qui rendent cette étude ordinairement plus difficile et plus complexe que celle de l'origine des radicelles dans la racine.

TROISIÈME PARTIE

ORIGINE, CROISSANCE INTERNE ET SORTIE DES AUTRES MEMBRES ENDOGÈNES

La très grande extension qu'il nous a fallu donner aux deux premières parties de ce Mémoire pour aboutir à des résultats dont la généralité ne pût être contestée, nous oblige à en restreindre beaucoup la troisième partie. Nous nous bornerons donc à résumer très brièvement, dans autant de paragraphes distincts, quelques-unes de nos observations sur l'origine, la croissance interne et la sortie des membres endogènes autres que les radicelles et les racines latérales de la tige, c'est-à-dire des racines latérales adventives produites par les feuilles, de la racine terminale de la tige dans les cas très rares où elle est endogène, des bourgeons issus des racines et de la région hypocotylée de la tige, enfin des émergences endogènes.

I. — ORIGINE DES RACINES ADVENTIVES DANS LA FEUILLE.

Dans les conditions naturelles de la végétation, les feuilles produisent très rarement des racines. Nous en avons observé, par exemple, dans une feuille de *Ranunculus aquatilis*. Développées accidentellement sous l'influence de quelque cause demeurée inconnue, elles étaient encore incluses dans le parenchyme aux divers états de leur formation. Le faisceau libéroligneux de cette feuille a, comme on sait, un endoderme propre et un péricycle particulier formé d'une seule assise de cellules. Pour produire la racine, un arc de cellules péricycliques situé sur le flanc du faisceau, vis-à-vis de la séparation du liber et du bois, et qui compte cinq cellules dans le cas

actuel, accroît radialement ses éléments et les divise par deux cloisons tangentielles successives, pour découper les trois régions et l'épistèle.

L'arc d'endoderme superposé dilate en même temps ses cellules et forme autour du mamelon une poche simple dans toute son étendue, dont la base est plus tard incorporée. C'est cette poche qui attaque et digère le parenchyme foliaire, de manière à amener la sortie de la racine.

En résumé, la racine naît ici dans la feuille exactement comme une racine latérale ordinaire dans la tige, puisque celle-ci a également, comme on sait, des faisceaux libéroligneux enveloppés individuellement par le péricycle et l'endoderme (p. 433).

Habituellement les feuilles ne produisent de racines que lorsque, après les avoir séparées de la tige, on les place dans des conditions favorables, en un mot quand on en fait des boutures.

Dans le pétiole et le limbe des *Begonia imperialis*, *rex* et *ricinifolia*, par exemple, la racine adventive naît du péricycle unisérié et parenchymateux qui entoure individuellement chaque faisceau libéroligneux en dedans de son endoderme particulier. L'arc rhizogène s'établit dans le péricycle au flanc du faisceau, en face de la séparation du liber et du bois. Ses cellules s'allongent perpendiculairement au faisceau ou obliquement en dehors; puis, par deux cloisons tangentielles successives, elles découpent les trois régions de la racine avec l'épistèle. L'arc de cellules interposées au liber et au bois, correspondant à l'arc générateur des faisceaux de la tige, accroît aussi ses éléments et les cloisonne en divers sens, surtout radialement; mais il ne donne que la base du cylindre central, par où se fait l'insertion de ses faisceaux libériens et ligneux sur le liber et le bois du faisceau foliaire. Le mamelon ainsi formé refoule d'abord un peu, puis digère l'endoderme; il attaque ensuite les autres assises du parenchyme. Il n'y a pas de poche digestive permanente; ce qui paraît tout naturel ici, puisque chez les *Begonia* ni la racine qui naît

dans la tige (p. 424), ni la radicelle qui naît dans la racine (p. 76), ne possèdent de poche digestive.

Née ainsi au flanc du faisceau, la racine se dirige aussitôt vers l'extérieur en longeant le liber. Çà et là le même faisceau produit au même niveau deux racines, une à droite, l'autre à gauche. Ces deux racines se dirigent vers l'extérieur en cheminant parallèlement à peu de distance l'une de l'autre. Il n'est pas rare alors que les deux mamelons se fusionnent en dehors du liber en une racine double, qui se dirige vers l'extérieur en exacte correspondance avec le dos du faisceau libéroligneux.

M. F. Regel a décrit la formation des racines adventives dans les boutures de feuilles de divers *Begonia* (1). Il assigne le principal rôle dans la production de la racine à l'assise intercalée au liber et au bois du faisceau, c'est-à-dire au cambium. Toutefois, il ne lui a pas échappé que l'assise de parenchyme qui entoure le faisceau, c'est-à-dire notre péricycle, prend part à la constitution du membre, dont elle engendre l'épiderme calyptrogène. Suivant nous, c'est cette assise qui produit toute la racine; la croissance et le cloisonnement des cellules intercalées au liber et au bois n'en fournissent que la région inférieure, par où elle s'insère dans le faisceau foliaire.

Chez d'autres plantes, où la racine issue de la tige et la radicelle issue de la racine ont une poche digestive plus ou moins développée, les racines adventives produites par les feuilles se montrent tout aussi dépourvues de poche que celles des *Begonia*. Il en est ainsi notamment chez les *Peperomia*.

Dans le pétiole et dans le limbe des *P. argyreia* et *peltata*, par exemple, la racine se forme aussi aux dépens d'un arc de cellules péricycliques situées sur le flanc d'un faisceau libéroligneux, vis-à-vis de la ligne de séparation du liber et du bois, ou un peu plus en dedans, au bord du bois. Ces cellules

(1) F. Regel, *Die Vermehrung der Begoniaceen aus ihren Blättern* (*Jenaische Zeitschrift*, X, p. 461, 1876).

s'accroissent latéralement et, par deux cloisons tangentielles successives, découpent les trois régions de la racine avec l'épistèle. En même temps, l'assise de cellules interposées au liber et au bois, qui représente l'assise génératrice du liber et du bois secondaires dans les faisceaux de la tige, accroît ses éléments perpendiculairement à la surface de séparation des deux régions et les divise à plusieurs reprises tangentiellement, de manière à produire une sorte de méristème secondaire. Plus tard, ce méristème se différencie en vaisseaux et en tubes criblés, qui établissent le raccord des faisceaux ligneux et libériens de la racine avec le bois et le liber du faisceau foliaire. Au-dessus du mamelon ainsi formé, l'arc d'endoderme particulier du faisceau dilate d'abord un peu ses cellules, mais bientôt il se résorbe, et après lui, successivement, toutes les assises du parenchyme, de manière à permettre la sortie de la racine.

A la seule différence près de l'absence d'une poche digestive, la racine se forme donc dans la feuille des *Peperomia* comme dans la tige de ces mêmes plantes ou comme la radicelle dans leur racine. On sait, en effet, que les racines des Pipéracées se font dans la tige (p. 428) et leurs radicelles dans la racine (p. 93) avec une poche digestive simple, parfois double au sommet, à base incorporée. Cette absence de poche digestive peut s'expliquer ici par la tardivité de ce genre de racines. Nous avons, en effet, rencontré déjà ce caractère dans les racines tardives issues de la tige et dans les radicelles tardives issues de la racine.

M. Beinling a suivi les diverses phases du développement des racines adventives dans les boutures de feuille de divers *Peperomia* (1). Nos observations diffèrent des siennes en un point important. Suivant lui, c'est, en effet, l'assise interposée au liber et au bois, c'est-à-dire le cambium du faisceau, qui produit la racine sur l'un de ses bords, c'est-à-dire

(1) Beinling, *Untersuchungen über die Entstehung der adventiven Wurzeln und Laubknospen an Blattstecklingen von Peperomia* (*Cohn's Beiträge*, III, p. 41, 1879).

sur le flanc du faisceau. Cette assise ne donne, suivant nous, que la base du cylindre central, par où il s'insère sur le bois et le liber du faisceau foliaire; la racine elle-même procède tout entière du péricycle propre du faisceau.

En résumé, les racines adventives naissent dans les feuilles de la même manière et au même lieu que les racines latérales dans la tige, c'est-à-dire tout entières aux dépens du péricycle. La différence n'est que dans la disposition du péricycle, qui dans le limbe des feuilles entoure toujours individuellement chaque faisceau. Cette disposition, fréquente aussi dans le pétiole, y rend impossible la production des racines dans les intervalles des faisceaux et les force à naître au contact même des faisceaux, d'ordinaire sur leur flanc, c'est-à-dire à la place la plus favorable à la fois à l'insertion de leur liber et de leur bois. Quant à la poche digestive, là où il ne s'en fait pas dans la tige et dans la racine, il ne s'en fait pas davantage dans la feuille. Là où il s'en fait une dans la tige et dans la racine, il s'en fait une dans la feuille si la racine y est précoce, il ne s'en fait pas si elle y est tardive.

II. — ORIGINE DE LA RACINE TERMINALE ENDOGÈNE.

La racine terminale est presque toujours exogène, non seulement chez les Phanérogames, où elle apparaît pendant le cours du développement de l'embryon au sein de l'ovule en voie de transformation en graine, mais encore chez les Cryptogames vasculaires, où elle se forme dès la première phase du développement de l'œuf en plantule sur le prothalle. On peut dire, il est vrai, que, chez les Phanérogames, si elle est exogène par rapport à l'embryon proprement dit, elle est endogène par rapport au suspenseur sous la base duquel elle se forme, suspenseur qui est bien, après tout, une partie constitutive du corps issu du développement de l'œuf de ces plantes. Quoi qu'il en soit, son exogénéité s'explique, comme celle des racines latérales gemmaires de la tige adulte, par son extrême précocité. On a souvent comparé un jeune bourgeon à un embryon,

on voit que la ressemblance se poursuit dans la manière dont l'un et l'autre forment leur première racine.

Il y a pourtant à cette règle quelques exceptions. Chez les Graminées, les Commélinées, les Zingibérées et les Cannées parmi les Monocotylédones, chez les Tropæolées et les Nyctaginées parmi les Dicotylédones, la racine terminale est endogène par rapport à l'embryon. Cela vient peut-être de ce qu'elle y apparaît relativement plus tard que d'ordinaire dans la suite du développement. Toujours est-il que c'est par l'étude de l'embryogénie qu'il faut en rechercher la première origine, ce qui n'a été fait encore que pour les Graminées, comme il sera dit plus loin.

D'après ce qu'on en sait, il est probable que la racine terminale naît alors dans la calotte péricyclique qui termine le cylindre central à la base de la tige, comme les racines latérales dans l'assise péricyclique qui en borde les flancs. Pour sortir, elle a donc à traverser toute l'épaisseur actuelle de l'écorce de la tige à son sommet. Ce qui est certain, c'est que, pendant le développement de l'embryon et jusqu'à la maturité de la graine, l'extrémité de la racine terminale n'exerce aucune action digestive sur l'écorce qui lui est superposée. Elle se borne à dilater l'écorce, qui suit sa croissance et se maintient en parfaite continuité avec elle, tout au moins au sommet. A la germination seulement, elle sécrète les diastases qui attaquent l'écorce; elle la digère ainsi, la perfore et paraît au dehors. L'assise corticale interne, c'est-à-dire l'endoderme actuel, échappe à la digestion et forme une poche autour du sommet; c'est cette poche qui attaque et digère le reste de l'écorce. En un mot, à part le retard dans l'action digestive, qui ne commence qu'à la germination, les choses semblent se passer pour une racine terminale endogène comme pour une racine latérale ordinaire.

Ce caractère général une fois constaté, considérons maintenant en particulier les cinq familles citées plus haut.

Graminées. — Chez les Graminées (*Hordeum*, *Triticum*,

Zea, etc), les coupes longitudinales axiles de l'embryon dans la graine mûre montrent la racine terminale déjà assez longue, dégarnie d'épiderme sur les flancs et y offrant à nu son exoderme à cellules larges et courtes. Celui-ci est séparé de l'écorce de la tige par un étroit espace vide, provenant de la digestion latérale de la partie interne de cette écorce à la suite de l'épaississement transversal de la racine; les cellules corticales situées en regard sont, en effet, entamées et en partie corrodées. A l'extrémité, la racine possède un épiderme composé étroit et haut, de forme conique, à cellules empilées en séries longitudinales, sans méats. Le bord de cet épiderme est déjà détaché de l'épistèle et libre; son cran d'insertion a disparu et l'exoderme sous-jacent prolonge si bien l'assise périphérique de l'épistèle qu'il est impossible de reconnaître le niveau de séparation de l'épistèle et de l'écorce. Au sommet et dans tout son contour conique, l'épiderme est en parfaite continuité avec l'écorce; ici, aucune digestion n'a eu lieu jusqu'à présent. L'assise corticale interne, c'est-à-dire l'endoderme actuel, n'ayant ni plissements, ni aucun autre caractère spécial, on ne distingue l'épiderne de la racine d'avec l'écorce de la tige qu'à la disposition, à la forme et au contenu des cellules, qui sont en séries longitudinales, cubiques, sans méats et dépourvues d'amidon dans le premier, irrégulièrement disposées, aplaties, pourvues de méats et pleines d'amidon dans la seconde.

A la germination, les deux régions se séparent, au contraire, nettement. L'endoderme actuel demeure adhérent au cône épidermique qu'il recouvre d'un bonnet, simple latéralement, double au sommet; ce bonnet se termine, un peu au-dessous du bord de l'épiderme, par un bord libre, parce qu'il a été digéré ou incorporé dans sa région basilaire par le flanc de la racine pendant la période embryonnaire. C'est lui qui sécrète les diastases et qui digère d'abord quelques assises de l'écorce tout autour, en rendant libre l'extrémité de la racine. Ensuite la digestion continue à distance et une ouverture d'abord étroite, puis de plus en plus large, se trouve pratiquée dans

toute l'épaisseur de l'écorce de la tige au sommet, à côté du bouton formé par le suspenseur. La racine en s'allongeant passe par cette ouverture, qu'elle dilate, et se trouve ainsi, comme on sait, entourée d'une gaine à sa base. Au moment où elle sort, sa coiffe se compose donc d'une poche mince et d'une calyptre épaisse; mais bientôt la poche est exfoliée et la coiffe se réduit à la calyptre. On voit donc que la sortie de la racine terminale de ces plantes s'opère par digestion et avec poche digestive, comme la sortie de leurs racines latérales et de leurs radicelles.

Pour M. de Janczewski (*loc. cit.*, p. 13, 1874) et pour M. Flahault (*loc. cit.*, p. 27, 1878), la coiffe de la racine terminale des Graminées est absolument indépendante de la racine; elle dépend de la gaine qui l'entoure, dont elle est une partie intégrante, et appartient, par conséquent, tout entière à l'écorce de la tige. « Au moment de la germination, dit M. Flahault, la partie de la gaine située dans l'axe de la racine, sollicitée par la pression de la radicule qui s'allonge, se sépare des parties latérales, se déchire et demeure au sommet de la radicule, tandis que le reste de la gaine forme la coléorhize. Dès lors, cette portion terminale de la gaine forme la coiffe » (*loc. cit.*, p. 27). Nous avons vu qu'à la germination les choses se passent tout autrement. La gaine est percée au sommet par digestion, et non déchirée circulairement; la racine n'en emporte à son sommet aucune partie, à l'exception de son assise interne qui forme la poche digestive. Toute la coiffe, moins cette assise, est un épiderme calyptrogène appartenant en propre à la racine. Avant la germination, cet épiderme est, il est vrai, recouvert par l'écorce de la tige et en continuité avec elle, mais son origine n'en est pas moins tout à fait indépendante de cette écorce.

Notre opinion est d'ailleurs conforme aux observations de Hanstein, qui a suivi le développement de l'embryon des Graminées et y a recherché l'origine de la racine terminale (1). Sui-

(1) Hanstein, *Die Entwickelung des Keimes der Monocotylen und Dicotylen* (*Botanische Abhandlungen*, I, p. 17, 1870).

vant cet auteur, c'est, en effet, une assise issue du bord externe de la jeune racine par un premier cloisonnement tangentiel, qui prend plus tard de nouvelles cloisons tangentielles centripètes, plus abondantes dans sa région médiane que sur ses bords, et produit de la sorte un massif conique, qui est la coiffe (*loc. cit.*, p. 55, fig. 24, pl. XVII). La coiffe procède donc bien de la racine. Quant au parenchyme externe, il appartient, d'après Hanstein, au suspenseur, et c'est par déchirure, c'est-à-dire mécaniquement, qu'il s'isole latéralement tout autour de la racine. Nous avons vu que cette séparation s'opère, au contraire, par digestion, c'est-à-dire chimiquement.

Commélinées. — On sait, d'après les observations de M. de Solms-Laubach (*Bot. Zeitung*, 1878, p. 65) et de M. Flahault (*loc. cit.*, p. 33, 1878), que chez les Commélinées la racine terminale de l'embryon est recouverte dans la graine mûre par l'écorce de la tige, qui forme autour d'elle une couche continue, moins épaisse toutefois que chez les Graminées. A la germination, la racine perce cette couche pour se développer au dehors. Suivant M. Flahault, ici, comme chez les Graminées, tout le tissu qui recouvre au sommet les initiales de l'écorce de la racine appartient à la tige, et c'est lui qui constitue la coiffe.

D'après nos observations, il y a, au contraire, ici comme chez les Graminées, deux parts à faire dans cette couche. La partie interne appartient à la racine dont elle constitue l'épiderme; composé au sommet de quatre à six assises de cellules superposées en séries logitudinales, cet épiderme se rattache à la base, en même temps que l'assise périphérique de l'écorce de la racine à la cellule supérieure de l'épistèle. La partie externe seule, formée ordinairement de trois assises dans les *Commelina*, mais se réduisant à une seule dans le *Tinnantia*, appartient à la tige et constitue la gaine. A la germination, cette couche externe est digérée au sommet par la racine, qui paraît au dehors, munie de son épiderme calyptrogène.

Zingibérées et Cannées. — D'après les recherches de M. Flahault (*loc. cit.*, p. 54 et 55, 1878), dans les *Hedychium* et surtout les *Canna*, la racine terminale de l'embryon dans la graine mûre est recouverte par une couche assez mince appartenant à l'écorce de la tige, couche qu'elle perce à la germination. Comme dans les familles précédentes, ce botaniste attribue à l'écorce de la tige tout le tissu situé en dehors de l'écorce de la racine. Suivant nous, au contraire, il y a ici deux parties à distinguer dans cette couche : l'interne appartient à la racine dont elle est l'épiderme composé ; l'externe seule, formée d'un petit nombre d'assises de cellules pourvues de méats, appartient à l'écorce de la tige et constitue la gaine. A la germination, la racine digère la gaine au sommet et paraît au dehors avec son épiderme composé.

Tropæolées. — M. Flahault a montré (*loc. cit.*, p. 113, 1878) que, chez les *Tropæolum*, la racine terminale de l'embryon dans la graine mûre est recouverte par une couche assez épaisse de l'écorce de la tige, couche qu'elle déchire en quatre valves à la germination pour se développer à l'extérieur. Ici, l'auteur a bien distingué, dans le tissu qui est situé en dehors de l'écorce de la racine, les deux parties qui le composent, savoir : en dedans, l'épiderme composé à cellules superposées en séries radiales sans méats, qui appartient à la racine ; en dehors, une couche de huit à dix assises de cellules irrégulièrement disposées et pourvues de méats, qui appartient à l'écorce de la tige, qui est recouverte par l'épiderme de celle-ci, et qui constitue la gaine. Ces deux parties sont pourtant ici en continuité tout aussi intime que chez les Monocotylédones.

A la germination, la gaine corticale étant, suivant l'auteur, déchirée au sommet même, l'épiderme de la racine n'en entraîne pas une portion avec lui et, par conséquent, la coiffe est, dès ce moment, réduite à une calyptre. D'après nos observations, l'écorce de la tige est à ce moment digérée au sommet et la racine traverse l'ouverture en l'élargissant ; il semble

bien aussi qu'elle est munie d'une poche digestive formée par l'endoderme actuel.

Nyctaginées. — M. Flahault a fait voir encore (*loc cit.*, p. 128, 1878) que, chez les *Mirabilis*, la racine terminale embryonnaire dans la graine mûre est recouverte tantôt par quelques assises corticales et par l'épiderme de la tige, tantôt seulement par cet épiderme. A la germination, cette couche corticale est déchirée par la racine. L'auteur ayant, ici aussi, fait la distinction de ce qui dans l'embryon revient à la racine et à la tige, nous n'avons pas à y insister.

La modification apportée par nos recherches à la manière dont M. Flahault a considéré la structure de l'extrémité de la racine terminale quand elle est endogène n'a donc trait qu'aux Monocotylédones, qu'elle ramène au type admis pour les Dicotylédones.

En résumé, qu'il s'agisse d'une Monocotylédone ou d'une Dicotylédone, quand elle est endogène, la racine terminale offre partout le même mode de formation et la même constitution définitive dans la graine mûre; elle se comporte aussi de la même manière à la germination. Sous ces deux rapports, elle ressemble aux racines latérales et aux radicelles de la même plante.

III. — ORIGINE DES BOURGEONS ENDOGÈNES.

On sait que bon nombre de plantes, surtout parmi les Dicotylédones, produisent régulièrement, sur leurs racines et sur leur tige hypocotylée, des bourgeons endogènes, disposés dans les mêmes rangées que les radicelles et les racines latérales, qui sont normaux au même titre que les radicelles et les racines latérales. L'un de nous a montré récemment que ces bourgeons endogènes se forment, comme les radicelles ou les racines latérales, dans le péricycle de la racine ou de la tige et s'y disposent aussi, comme les radicelles ou les racines latérales, suivant la règle isostique si la racine ou la tige mère a plus de deux faisceaux ligneux ou libériens, suivant la règle

diplostique si la racine ou la tige a la structure binaire (1). Il suffira donc de décrire ici le phénomène avec un peu plus de détails dans quelques cas particuliers. Nous prendrons pour exemple d'abord l'*Alliaria officinalis* et l'*Anemone pensylvanica* dont la racine terminale a, comme on sait, la structure binaire et produit des bourgeons endogènes quadrisériés en ordre diplostique, puis le *Convolvulus arvensis* dont la racine terminale a la structure quaternaire et produit des bourgeons endogènes quadrisériés en ordre isostique.

La racine terminale de l'*Alliaria officinalis* a la structure binaire déjà décrite en général pour les racines des Crucifères (p. 23 et suiv.). Les bourgeons y prennent naissance après les radicelles, et même après le début du liber et du bois secondaires. Pour en produire un, plusieurs cellules péricycliques, formant un arc situé latéralement par rapport à un faisceau ligneux, s'accroissent en tous sens et se cloisonnent dans les trois directions. Le mamelon ainsi constitué attaque et dissout d'abord l'endoderme, puis successivement toutes les autres assises corticales et paraît enfin au dehors. Chemin faisant, il a produit sur ses flancs d'abord deux protubérances qui deviennent bientôt deux jeunes feuilles situées l'une en haut, l'autre en bas, puis successivement d'autres jeunes feuilles, et s'est ainsi constitué à l'état de bourgeon.

Ces bourgeons se développent donc dans le péricycle et à la même place que les radicelles; comme elles, ils sont plus tard disposés en quatre séries, rapprochées deux par deux du côté des faisceaux ligneux. Comme les radicelles aussi, ils sont dépourvus de poche digestive. Ils ne diffèrent des radicelles que par leur apparition plus tardive.

La tige hypocotylée de cette plante, dont la région inférieure conserve la structure binaire de la racine terminale, produit aussi plus tard dans cette région et de bas en haut des bourgeons endogènes. Ceux-ci y naissent dans le péricycle et

(1) Ph. Van Tieghem, *Recherches sur la disposition des radicelles et des bourgeons dans les racines des Phanérogames* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, V, p. 130, 1887).

s'y disposent comme les racines latérales de la même région (p. 411) ; ils sont seulement plus tardifs. Ils continuent donc sur la tige les quatre séries de bourgeons du pivot, comme les racines latérales y continuent les quatre séries de radicelles primaires.

M. Beijerinck a étudié brièvement les bourgeons radicaux et hypocotylés de cette plante (1). Il les a vus naître dans le péricycle ; mais, comme il admet que les radicelles et les racines latérales hypocotylées sont disposées en deux séries en face des deux faisceaux ligneux, il croit aussi que les bourgeons sont bisériés. Il y a là une erreur, comme on vient de le voir.

Dans la plante qui vient d'être étudiée et dans toutes celles de la même famille qui produisent des bourgeons radicaux et hypocotylés, l'absence de poche digestive autour de ces bourgeons n'a rien qui puisse surprendre, puisque les radicelles et les racines latérales hypocotylées n'en ont pas non plus. Mais, si l'on remarque que chez d'autres plantes, où les radicelles et les racines latérales sont constamment munies d'une poche digestive, les bourgeons radicaux et hypocotylés n'en ont pas davantage, on est porté à chercher pour le phénomène une autre explication, qui puisse convenir à tous les cas.

Tels sont notamment plusieurs *Anemone* (*A. sylvestris*, *pensylvanica*, *japonica*, etc.), qui produisent en abondance des bourgeons sur leurs racines.

Sous l'assise pilifère, dont les cellules se prolongent en courtes papilles arrondies, l'écorce de la racine terminale de l'*Anemone pensylvanica*, par exemple, a sept assises dont la dernière est un endoderme à cellules aplaties munies de plissements très marqués. Le cylindre central a un péricycle simple, deux faisceaux ligneux confluents en une bande diamétrale et deux faisceaux libériens alternes, séparés des vaisseaux par deux rangs de cellules conjonctives, dont les internes

(1) Beijerinck, *Beobachtungen und Betrachtungen über Wurzelknospen und Nebenwurzeln* (*Natuurk. Verhandl. der kon. Akad. der Weetensch.*, Amsterdam, XXV, p. 50, 1886).

se différencient en vaisseaux de métaxylème et les autres constituent l'assise génératrice. Celle-ci ne tarde pas à fonctionner et à donner quelques vaisseaux de bois secondaire accolés contre le métaxylème (pl. XL, fig. 585). C'est à cette époque, un peu plus tard par conséquent que les radicelles, que commencent à apparaître les bourgeons. Un arc péricyclique, comptant environ dix cellules et occupant presque tout le quart de circonférence entre le vaisseau le plus externe d'un faisceau ligneux et le milieu d'un faisceau libérien, accroît ses éléments et les cloisonne vivement en tous sens. Au-dessus du mamelon ainsi formé, l'arc d'endoderme dilate d'abord un peu ses cellules, mais bientôt elles deviennent flasques, se vident, se résorbent et les assises successives de l'écorce en font autant, à mesure que le jeune bourgeon, en grandissant, vient les toucher. Il n'y a pas de poche digestive. Bientôt le mamelon produit d'abord d'un côté, puis de l'autre, une protubérance qui grandit et devient une jeune feuille; plus tard, il se forme deux nouvelles feuilles au-dessus des premières. Le bourgeon a déjà quatre feuilles, quand il est encore inclus dans l'écorce, dont il lui reste deux ou trois assises à traverser (fig. 586).

Pendant que le bourgeon s'accroît ainsi, le cylindre central continue à produire du liber et du bois secondaires en dedans des faisceaux libériens primaires, tandis qu'en face des faisceaux ligneux primaires les cellules péricycliques se divisent tangentiellement pour produire des rayons secondaires. En même temps, les cellules endodermiques se divisent une ou deux fois par des cloisons radiales non plissées. L'écorce se dilate aussi en cloisonnant radialement ses cellules. En effet, dans cette plante le périderme est assez tardif; il commence seulement à apparaître dans l'état représenté figure 586, par un premier cloisonnement tangentiel des cellules péricycliques en dehors des deux faisceaux libériens.

En résumé, les bourgeons radicaux des *Anemone* naissent dans la racine binaire au sein du péricycle, comme les radicelles; ils s'y disposent aussi en quatre rangées alternes aux

faisceaux ligneux et libériens, suivant la règle diplostique, comme les radicelles. Mais ils diffèrent des radicelles en ce qu'ils sont dépourvus de poche digestive ; cette différence est peut-être en rapport avec la nature différente du membre produit; mais peut-être aussi s'explique-t-elle mieux par l'âge plus avancé du membre générateur, c'est-à-dire par la moindre précocité du membre produit. Sous ce rapport, en effet, les bourgeons radicaux sont plutôt comparables à des radicelles tardives qu'à des radicelles précoces.

M. Beijerinck a étudié sommairement la formation des bourgeons radicaux de l'*Anemone sylvestris* (*loc. cit.*, p. 44, 1886). Il a bien vu que c'est le péricycle de la racine mère qui les produit, mais il affirme que l'endoderme de la racine prend part à leur constitution, ce qui est inexact. Admettant que les radicelles sont disposées en deux séries en face des deux faisceaux ligneux, il attribue aussi aux bourgeons la même disposition bisériée, ce qui est une autre erreur, comme il a été dit.

Comme exemple de disposition isostique, étudions encore les bourgeons radicaux du *Convolvulus arvensis*. La racine terminale y a, comme on sait (p. 241), la structure quaternaire. Pour former un bourgeon, un arc péricyclique, dont le milieu correspond exactement à un faisceau ligneux, accroît ses cellules et les cloisonne en tous sens, produisant ainsi un mamelon hémisphérique. Ce mamelon digère ensuite, d'abord l'endoderme, puis successivement toutes les assises corticales, et paraît au dehors (fig. 584). Chemin faisant, il s'est agrandi et a produit d'abord une première feuille vers le bas, puis une seconde feuille vers le haut, ensuite d'autres feuilles, suivant la disposition $\frac{2}{5}$. Les bourgeons radicaux naissent donc encore ici dans la racine terminale et y sont disposés comme les radicelles primaires, avec cette seule différence qu'ils y apparaissent plus tard et qu'ils sont dépourvus de poche digestive.

M. Beijerinck (*loc. cit.*, p. 82) a observé de son côté les bourgeons radicaux de cette plante. Il a constaté qu'ils naissent

dans le péricycle en quatre rangées et a bien vu ici que l'endoderme de la racine ne prend aucune part à leur formation.

Par les exemples précédents, qu'il serait facile de multiplier, on voit que les bourgeons endogènes des plantes les plus diverses, qu'ils soient radicaux ou hypocotylés, procèdent du péricycle de la racine ou de la tige mère, et, pour sortir, digèrent directement l'écorce sans poche digestive.

La tige épicotylée peut produire aussi çà et là des bourgeons endogènes plus ou moins tardifs, naissant sans ordre en des points quelconques, comparables aux radicelles tardives et aux racines latérales tardives, et qui méritent le nom de bourgeons adventifs. Ceux-là sortent du cadre de notre travail. Remarquons cependant que, dans les *Cuscuta*, où la formation en a été étudiée d'abord par M. L. Koch (1), ils naissent dans le péricycle de la tige, comme les bourgeons hypocotylés normaux, et, pour sortir, digèrent d'abord l'endoderme, puis toutes les assises corticales et enfin l'épiderme, en un mot sont dépourvus de poche digestive.

IV. — ORIGINE DES ÉMERGENCES ENDOGÈNES.

On sait que les Phanérogames parasites développent, sur leurs racines ou sur leurs tiges, des membres particuliers qui pénètrent respectivement dans les racines ou dans les tiges de la plante hospitalière et qu'on nomme des *suçoirs*. Dans les Santalacées, les Orobanchées, les Rhinanthées, etc., c'est sur les racines, dans les Cuscutées, c'est sur les tiges que se forment les suçoirs. Chez les Rhinanthées, ils sont exogènes et sortent par conséquent du cadre de ce travail. Ce sont de simples protubérances de l'écorce de la racine, revêtues par l'assise pilifère, par conséquent des émergences du même ordre que celles qui se développent sur la tige et les feuilles des *Rosa*, *Rubus*, etc. Mais chez les Santalacées, les Orobanchées et les Cuscutées,

(1) L. Koch, *Die Klee- und Flachsseide*, 1880, p. 82.

ils sont endogènes et, à cause de cela, on les a regardés longtemps comme étant des radicelles différenciées dans les deux premières familles, des racines latérales différenciées dans la troisième. Pourtant, ni leur lieu d'origine, ni leur mode de formation, ni leur structure définitive ne permettent de leur attribuer la valeur morphologique de radicelles ou de racines latérales.

Considérons en premier lieu les suçoirs que les *Cuscuta* produisent sur leurs tiges volubiles au contact des organes aériens de la plante nourricière. L'écorce de la tige comptant sous l'épiderme environ huit assises dans le *C. epithymum*, par exemple, c'est dans la seconde assise que le suçoir prend naissance. Un certain nombre de ces cellules s'accroissent radialement et se cloisonnent tangentiellement ; elles forment ainsi un mamelon qui digère d'abord l'assise externe, puis l'épiderme, et paraît au dehors. Aussitôt il perce, en les digérant, les assises externes de la plante hospitalière, dans l'intérieur de laquelle il se développe, toujours en résorbant les tissus qu'il vient à rencontrer. En même temps, ce mamelon se met, à travers l'écorce interne de la tige mère, en rapport vasculaire avec le cylindre central de cette tige. Le suçoir n'est donc pas d'origine péricyclique, mais d'origine corticale. Il ne naît pas au même lieu que les racines latérales de précocité moyenne, encore moins au même lieu que les racines latérales tardives, auxquelles on pourrait plutôt le comparer. Il n'a pas non plus, ni au début, ni plus tard, la structure d'une racine latérale.

Sur tous ces points, nos observations sont entièrement d'accord avec celles de M. L. Koch (1). Mais nous allons plus loin que lui dans nos conclusions. Ce botaniste admet, en effet, que les suçoirs des *Cuscuta* dérivent de racines latérales, qui se sont peu à peu dégradées en s'adaptant à la vie parasitaire (*loc. cit.*, p. 52, 1880). Pour nous, ce sont des membres de

(1) L. Koch, *Die Entwickelung der Cuscuteen* (*Hanstein's Botanische Abhandlungen*, II, 1874). — *Die Klee- und Flachsseide*, 1880.

valeur morphologique toute différente. Ce sont des productions corticales de la catégorie des émergences. Formées trop tard pour que l'épiderme et l'assise sous-épidermique puissent encore se développer au-dessus d'elles en les recouvrant, comme dans les émergences ordinaires des *Rosa*, *Rubus*, etc., ces émergences sont obligées de percer ces deux assises, ce qui les rend endogènes.

C'est de la même manière, d'après M. Poulsen (1), que se développent les suçoirs sur la tige des *Cassytha*, auxquels ce botaniste reconnaît aussi la valeur de simples émergences.

Quant aux suçoirs des racines des Santalacées (*Thesium*, *Osyris*, etc.) et des Orobanchées, il résulte des recherches de M. Leclerc du Sablon (2) et de M. Granel (3) qu'ils se développent aussi dans l'écorce de la racine mère, laissant en dehors d'eux quelques assises de cellules inactives. Celles-ci sont plus tard attaquées, digérées et dissoutes par le suçoir, qui paraît au dehors et s'enfonce aussitôt dans la racine de la plante hospitalière dont il digère progressivement les tissus. Le suçoir est donc endogène, mais d'origine corticale, non péricyclique. Il se forme aussi en des points quelconques de la racine, sans rapport régulier avec les rangées de radicelles, qui sont au nombre de quatre si la racine mère est binaire (p. 110). Enfin ils n'ont pas la structure d'une radicelle. Ce sont donc, comme dans les *Cuscuta*, des émergences endogènes. Ici, ce sont des émergences de racine, là des émergences de tige : c'est toute la différence.

C'est aussi à la catégorie des émergences endogènes qu'appartiennent les sacs polliniques des Phanérogames. Ici, le mamelon se développe dans l'assise sous-épidermique de la feuille staminale, mais de manière à laisser d'ordinaire, entre

(1) Poulsen, *Ueber den morphologischen Werth des Haustoriums von Cassytha und Cuscuta* (*Flora*, 1877, p. 507).

(2) Leclerc du Sablon, *Recherches sur les organes d'absorption des plantes parasites* (*Ann. des sc. nat.*, 7e série, VI, p. 90, 1887).

(3) Granel, *Sur l'origine des suçoirs de quelques Phanérogames parasites* (*Bull. de la Soc. bot.*, XXXIV, p. 313, 1887).

le tissu pollinifère et l'épiderme, au moins trois assises de cellules stériles. De ces trois assises, les deux internes sont digérées par le tissu pollinifère, qui s'en nourrit; l'externe ainsi que l'épiderme résistent à la résorption, excepté le long d'une fente ou d'un pore, et plus tard se reploient, sous l'influence de leurs propriétés physiques, pour amener la déhiscence de l'anthère.

Conclusions générales.

De ce long exposé découlent, en définitive, deux conclusions générales très simples.

Chez les Phanérogames, qu'ils soient des radicelles, des racines latérales, des racines terminales ou des bourgeons, toutes les fois qu'ils sont précoces et normaux, les membres endogènes vraiment dignes de ce nom naissent tout entiers dans le péricycle du membre générateur. Leur origine est stélique. L'écorce du membre générateur ou ne contribue en rien à leur formation, ou les entoure d'une poche digestive plus ou moins épaisse, plus rarement les enveloppe au début d'une gaine protectrice.

Chez les Cryptogames vasculaires, qu'il s'agisse de radicelles ou de racines latérales, les membres endogènes naissent tout entiers dans l'endoderme, définitif ou actuel, du membre générateur. Leur origine est corticale. Le reste de l'écorce ou ne contribue en rien à leur formation, ou les entoure d'une poche digestive plus ou moins épaisse, plus rarement les enveloppe au début d'une gaine protectrice.

Au point de vue du lieu de production des membres endogènes, les plantes vasculaires se divisent donc en deux grands groupes : les Péricyclogènes, comprenant essentiellement les Phanérogames, et les Endodermogènes, comprenant essentiellement les Cryptogames vasculaires. On a vu qu'il faut vraisemblablement retirer du second groupe, pour les rattacher au premier, les deux genres *Lycopodium* et *Isoetes*.

C'est seulement dans le cas, très rare après tout, où le membre endogène est une émergence, qu'il procède chez les Phanérogames de la partie externe ou médiane de l'écorce, qu'il n'est pas d'origine péricyclique. Encore peut-on se demander si son endogénéité n'est pas ici une simple conséquence de sa tardivité? L'exogénéité des suçoirs des racines des Rhinanthées, qui sont plus précoces que ceux des racines des Santalacées, rend probable cette explication. Si, d'après cela, l'on convient de retrancher les suçoirs tardifs de la catégorie des véritables membres endogènes, les deux règles précédentes gouvernent tous les cas.

EXPLICATION DES FIGURES

PREMIÈRE PARTIE

ORIGINE DES RADICELLES

Toutes les figures ont été dessinées à la chambre claire, à un grossissemen variant entre 250 et 350 diamètres. A partir de la planche VI, elles ont été, avant la gravure, réduites de moitié par la photographie. Les figures des cinq premières planches sont donc grossies 250 à 350 fois, celles des autres seulement 125 à 175 fois.

Les lettres sont les mêmes partout, savoir: *ep*, épiderme de la radicelle; *ec*, écorce de la radicelle; *c*, cylindre central de la radicelle; *e*, épistèle de la radicelle; *p*, poche de la radicelle; *ep'*, épiderme de la racine mère; *ec'*, écorce de la racine mère; *d*, cellules de cette écorce en voie de digestion; *en*, endoderme de la racine mère; *t*, cellules triplissées de cet endoderme; *pe*, péricycle de la racine mère; *b*, faisceau ligneux; *l*, faisceau libérien, partout teinté; *co*, conjonctif du cylindre central; b_1, métaxylème; *b'*, bois secondaire; *l'*, liber secondaire; *g*, assise génératrice du liber et du bois secondaires.

Pour faciliter la distinction de la poche *p*, on l'a partout teintée. Le cylindre central, l'écorce et l'épiderme de la radicelle sont limités par un trait plus fort. Les cellules primitives de l'arc rhizogène, tant qu'elles demeurent reconnaissables comme telles dans la radicelle, sont aussi limitées par un trait un peu plus fort que les cloisons qui les subdivisent.

Dicotylédones (pl. I-XV).

Planche I.

Fig. 1. Section transversale d'une racine mère binaire, montrant une jeune radicelle encore incluse, insérée vis-à-vis de l'intervalle entre un faisceau ligneux et un faisceau libérien, dans le cas où la déviation α est de 45 degrés.

Fig. 2. Section transversale d'une racine mère binaire, montrant les quatre radicelles incluses, insérées au même niveau, dans le cas de $\alpha=45$ degrés.

Fig. 3. Section transversale d'une racine mère binaire, passant par l'insertion

d'une radicelle incluse, dans le cas où la déviation α est plus petite que 45 degrés.

Fig. 4. Section transversale d'une racine mère binaire produisant au même niveau quatre radicelles à faible déviation ; elles se sont confondues deux par deux en deux radicelles doubles, insérées en face des deux faisceaux ligneux.

Fig. 5. Section transversale d'une racine mère binaire, passant par l'insertion d'une radicelle incluse, dans le cas où la déviation α est plus grande que 45 degrés.

Fig. 6. Section transversale d'une racine mère binaire produisant au même niveau quatre radicelles à forte déviation ; elles se sont fusionnées deux par deux en deux radicelles doubles, insérées en face des faisceaux libériens.

Fig. 7. Section longitudinale tangentielle à travers l'écorce d'une racine mère binaire, coupant transversalement une radicelle binaire, laquelle a produit à son tour au même niveau quatre radicelles de second ordre encore incluses.

Fig. 8. Section transversale d'une racine mère quaternaire, produisant au même niveau quatre radicelles encore incluses, insérées en face des faisceaux ligneux. Comparer cette figure à la figure 2.

Fig. 9. Portion d'une section transversale de la racine terminale de l'*Hesperis matronalis*, passant par le premier état de formation d'une radicelle. Sept cellules péricycliques se sont accrues radialement, puis cloisonnées tangentiellement ; l'arc interne est destiné au cylindre central ; l'arc externe est encore commun à l'écorce et à l'épiderme. La protubérance a déjà digéré complètement l'endoderme, et aux deux tiers l'assise sus-endodermique ; la troisième assise corticale n'a encore subi aucun changement, ni aucun déplacement.

Fig. 10. Portion d'une section transversale de la racine de la même plante, montrant la radicelle à un état plus avancé. L'arc externe s'est cloisonné tangentiellement pour dégager l'épiderme en dehors, l'écorce en dedans ; la cellule extrême de chaque côté n'est pas intéressée par ce cloisonnement ; elle constitue l'épistèle. Les initiales du cylindre central ont commencé leur cloisonnement transversal. L'endoderme est tout entier digéré et, sous l'assise pilifère, l'écorce de la racine mère n'a plus qu'un rang de cellules inattaquées.

Fig. 11. Portion d'une section transversale d'une racine terminale d'*Hesperis matronalis* plus âgée, ayant déjà formé du bois secondaire dans son cylindre central. L'assise conjonctive en contact avec la bande vasculaire primaire se différencie çà et là en vaisseaux de métaxylème, qui relient le bois secondaire au bois primaire. La coupe passe par l'axe d'une radicelle à un état plus avancé que les deux précédents. L'épiderme a pris de nouvelles cloisons radiales, mais est encore simple. Les cellules de l'écorce ont pris une cloison tangentielle, à l'exception de la médiane qui ne se cloisonnera jamais que radialement et constitue l'initiale de l'écorce. Le cloisonnement transverse a gagné toute la largeur du cylindre central. L'endoderme et les assises internes de l'écorce sont digérés.

Fig. 12. Portion d'une section transversale de la racine terminale de l'*Enarthrocarpus pterocarpus*, ayant formé son métaxylème, mais pas encore de bois secondaire, et offrant une radicelle à un état un peu plus avancé que les précédents. L'épiderme a pris une cloison tangentielle dans ses cellules médianes; il est double autour du sommet et son assise externe forme la première calotte de la calyptre. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, n'a encore que deux assises dans le bas, mais le cylindre central a multiplié ses cloisonnements. L'endoderme est totalement digéré.

Fig. 13. Section transversale d'une racine terminale de *Sinapis alba*, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée, mais encore incluse dans l'écorce. Dans le cylindre central de la racine, l'assise génératrice entre en jeu, mais il n'y a encore ni bois secondaire, ni métaxylème. L'assise sus-endodermique porte des cadres d'épaississement sur les faces latérales et transverses et un fin réseau sur la face interne. Comme l'endoderme, cette assise est totalement digérée par la radicelle. Celle-ci a développé beaucoup son cylindre central, terminé par une initiale et deux segments indivis. Son écorce, munie au sommet d'une initiale avec un segment d'un côté et deux de l'autre, n'a encore que deux assises sur les flancs; à la base, le raccord commence pourtant à s'établir entre son endoderme et celui de la racine mère, par l'intermédiaire des cellules triplissées. L'épiderme, simple à la base, n'a encore séparé autour du sommet qu'une seule calotte de calyptre.

Fig. 14. Section longitudinale de la racine terminale du *Teesdalia nudicaulis*, passant par l'axe d'une jeune radicelle à l'état correspondant à la figure 10. Le vaisseau le plus externe du faisceau ligneux est seul épaissi en spirale et lignifié. Les cellules péricycliques qui constituent, au nombre de sept, la file rhizogène, ont pris deux cloisons tangentielles successives, pour séparer d'abord le cylindre central en dedans, puis l'écorce au milieu et l'épiderme en dehors; la seconde cloison n'intéresse pas les cellules extrêmes, qui forment l'épistèle. En outre, les cellules médianes du cylindre central ont pris un nouveau cloisonnement tangentiel. L'endoderme et l'assise sus-endodermique sont complètement digérés; la troisième assise l'est aussi presque entièrement, mais sans avoir subi aucun refoulement; les deux autres sont encore intactes.

Fig. 15. Une cellule de l'assise sus-endodermique de la racine terminale du *Cheiranthus Cheiri*, vue obliquement de manière à montrer sa face interne, sa face latérale de gauche et sa face transverse supérieure; le réseau lignifié offre sensiblement la même épaisseur dans toutes ses parties.

Fig. 16. Une cellule de l'assise sus-endodermique de la racine terminale du *Sinapis alba*, pareillement placée. Le cadre rectangulaire est très épais, le réticule de la face interne très fin; du cadre partent des pointes vers l'extérieur.

Fig. 17. Une cellule de l'assise sus-endodermique de la racine terminale de l'*Alyssum minimum*, semblablement placée. Du cadre partent vers l'extérieur des bandelettes alternes avec les autres, qui atteignent la face externe et s'y prolongent quelque peu.

Fig. 18. Une cellule de l'assise sus-endodermique de la racine terminale du

Schizopetalum Walkeri, semblablement placée. La face interne ne porte que des demi-anneaux parallèles; vers l'extérieur se dirigent des bandelettes alternes qui se prolongent un peu sur la face externe, mais sans s'y rejoindre en demi-anneaux.

Fig. 19. Une cellule de l'assise sus-endodermique de la racine terminale du *Lepidium sativum*, pareillement placée. Le réseau se réduit à des demi-anneaux parallèles sur la face interne, sans bandelettes vers l'extérieur.

Fig. 20. Une cellule de l'assise sus-endodermique de la racine terminale de l'*Iberis affinis*. Le réseau se réduit à un cadre rectangulaire, poussant des deux côtés une série de dents alternes, plus développées vers l'intérieur que vers l'extérieur.

Planche II.

Fig. 21. Section transversale de la racine terminale du *Polanisia graveolens*, passant par l'axe d'une jeune radicelle, située à gauche de l'un des faisceaux ligneux et se dirigeant à travers l'écorce avec une déviation d'environ 40 degrés. L'écorce de la radicelle est encore indivise dans toute son étendue. Son épiderme a pris une cloison tangentielle dans sa cellule terminale, qui est son initiale; c'est le début de la première calotte de calyptre. L'endoderme a ses cellules en voie de résorption tout autour de la radicelle; la résorption a atteint au sommet l'avant-dernière assise corticale. En dedans des faisceaux libériens de la racine mère, l'arc générateur du liber et du bois secondaires commence à fonctionner.

Fig. 22. Section longitudinale de la racine terminale du *Polanisia trachysperma*, passant par l'axe d'une radicelle. L'épiderme est dédoublé presque dès sa base, de sorte que la première calotte de la calyptre entoure presque toute la radicelle. L'écorce a au sommet deux initiales et deux segments indivis; elle s'est divisée deux fois vers la base, où le raccord des cellules plissées commence à se faire. Le cylindre central se termine par une seule initiale. La radicelle a digéré complètement non seulement l'endoderme, mais encore l'assise corticale suivante; l'assise pilifère commence elle-même à aplatir et à résorber ses cellules.

Fig. 23. Section longitudinale de la racine terminale du *Polanisia uniglandulosa*, passant par l'axe d'une radicelle. L'épiderme est double autour du sommet; l'écorce a deux initiales avec deux segments indivis, le cylindre central une seule. L'endoderme forme autour de la radicelle une poche simple, où les cloisons radiales anciennes se distinguent des nouvelles par leurs marques noires. Cette poche a digéré les deux assises corticales suivantes et commence à attaquer la troisième.

Fig. 24. Section longitudinale de la racine terminale du *Gynandropsis pentaphylla*, passant par l'axe d'une radicelle au moment de sa sortie. L'épiderme a séparé trois calottes de calyptre; l'écorce a une initiale et deux segments entiers; le cylindre central a une grande initiale. L'endoderme forme une poche simple qui ne va pas tarder à être digérée à la base et entraînée comme un

bonnet, puis exfoliée. Cette poche a digéré les trois assises de l'écorce et le sommet de la radicelle apparaît au dehors.

Fig. 25. Moitié d'une section transversale de la racine terminale du *Cleome Eckloniana*, passant par l'axe d'une radicelle. Celle-ci se forme à gauche du faisceau ligneux, mais chevauche un peu sur lui à droite. L'épiderme a séparé deux calottes de calyptre; la calotte externe s'est dédoublée à son tour. L'écorce a une initiale sans segments indivis ; en bas, début du raccord des cellules plissées des deux endodermes. L'endoderme de la racine a été d'abord refoulé, puis complètement digéré par la radicelle ; celle-ci a résorbé la seconde et la troisième assise corticale et est en train de digérer la quatrième. Contre la lame vasculaire de la racine, s'est formé à droite un vaisseau de métaxylème.

Fig. 26. Section transversale de la racine terminale du *Cleome pungens*, passant par les axes de deux radicelles nées au même niveau, du même côté de la bande vasculaire diamétrale, qu'elles ont rendue concave du côté opposé, en même temps qu'elles ont comprimé le faisceau libérien du même côté. L'épiderme de la radicelle a séparé une seule calotte de calyptre; l'écorce a une initiale avec deux segments entiers, le cylindre central une grande initiale. L'endoderme a formé une poche simple, dépourvue de nouvelles cloisons radiales ou n'en ayant que très peu. Cette poche a digéré plusieurs assises corticales, mais les radicelles ne sont pas encore sorties.

Fig. 27. Portion d'une section transversale de la racine terminale à quatre faisceaux de l'*Isomeris arborea*, passant par l'axe d'une très jeune radicelle, située en face d'un faisceau ligneux. L'assise externe du péricycle a produit les trois régions: l'épiderme et l'écorce sont encore indivis ; le cylindre central a déjà pris en son milieu deux cloisons transversales. A cet âge, l'endoderme a dilaté ses cellules pour former une poche digestive. Mais bientôt cette poche est digérée dans sa totalité ; elle est transitoire.

Fig. 28. Coupe transversale de la racine terminale binaire d'une Capparidée, montrant la disposition quadrisériée des radicelles.

Fig. 29. Coupe transversale de la racine terminale quaternaire d'une Capparidée, montrant la disposition quadrisériée des radicelles.

Fig. 30. Portion de la section transversale d'une racine latérale adventive à cinq faisceaux du *Capparis thyrsiflora*, passant par l'axe d'une jeune radicelle située en face d'un faisceau ligneux. Le péricycle est simple en dehors des faisceaux ligneux. Il se cloisonne tangentiellement deux fois pour donner d'abord le cylindre central, puis l'écorce et l'épiderme. L'initiale de l'épiderme a déjà pris une cloison tangentielle, début de la première calotte de calyptre. L'écorce est encore indivise. L'endoderme enveloppe le mamelon d'une poche simple, çà et là double, qui persiste jusqu'à la sortie.

Fig. 31. Portion d'une coupe transversale d'une racine latérale adventive à sept faisceaux du *Capparis saligna*, passant par l'axe d'une radicelle située en face d'un faisceau ligneux. Le péricycle a trois assises en dehors du faisceau ligneux. L'externe s'est divisée tangentiellement deux fois pour former l'épiderme, déjà cloisonné lui-même deux fois au sommet, l'écorce, terminée

par une initiale sans segments entiers et déjà cloisonnée trois ou quatre fois à la base, où commence à s'opérer le raccord des plissements, enfin le sommet du cylindre central, terminé par deux initiales. L'assise moyenne et l'interne donnent simplement la base de ce cylindre. L'endoderme forme autour de la radicelle une poche simple, où les cloisons radiales primitives se distinguent des autres par leurs plissements; cette poche digère progressivement toute l'épaisse écorce. Plus tard, elle est à son tour digérée dans son anneau basilaire et détachée en forme de bonnet.

Planche III.

Fig. 32. Section longitudinale de la racine terminale du *Cysticapnos africana*, passant par l'axe d'une radicelle. L'épiderme est dédoublé au sommet; l'écorce a une initiale et deux segments indivis; le cylindre central a deux initiales. L'endoderme est complètement digéré, ainsi que l'assise corticale suivante, et la troisième commence à s'affaisser; les deux externes sont encore intactes.

Fig. 33. Section transversale de la racine terminale du *Fumaria capreolata*, passant par l'axe d'une radicelle attachée à gauche d'un faisceau ligneux, mais chevauchant un peu sur lui. L'épiderme est dédoublé autour du sommet; l'écorce a une seule initiale et a pris deux cloisons dans le bas; le cylindre central a une seule grande initiale. L'endoderme forme autour de la radicelle une poche, simple à la base, deux fois cloisonnée tangentiellement autour de l'extrémité, triple par conséquent au sommet. Cette poche digère les assises corticales successives.

Fig. 34. Coupe longitudinale de la racine terminale du *Papaver somniferum*, passant par l'axe d'une radicelle. L'épiderme et l'écorce viennent seulement de se séparer et sont encore indivis, bien que le cylindre central soit déjà cloisonné. L'endoderme forme autour de la radicelle une poche, dont les deux cellules terminales se sont cloisonnées tangentiellement, qui est double par conséquent au sommet. Cette poche est en train d'aplatir et de résorber les deux assises corticales internes. L'assise pilifère est encore intacte.

Fig. 35. Section longitudinale de la racine terminale du *Caylusea abyssinica*, passant par l'axe d'une radicelle très jeune. L'épiderme et l'écorce viennent de se séparer et sont encore indivis. L'endoderme forme d'abord une poche, mais qui est déjà aplatie et en voie de résorption sur l'anneau de base.

Fig. 36. Section longitudinale de la même racine passant par l'axe d'une radicelle plus âgée, au moment de sa sortie. L'épiderme a pris une calotte de calyptre; l'écorce a quatre cellules simples au sommet, deux initiales et deux segments indivis; elle s'est dédoublée à la base. La poche endodermique a totalement disparu et la radicelle a digéré directement les deux autres assises corticales et l'assise pilifère pour sortir.

Fig. 37. Section longitudinale de la racine terminale du *Reseda mediterranea*, passant par l'axe d'une radicelle très jeune. Les trois régions sont séparées; les cellules médianes du cylindre central sont dédoublées; l'épistèle est assez

haute. L'endoderme est complètement digéré en face du mamelon, qui attaque déjà la seconde assise corticale.

Fig. 38. Section longitudinale de la même racine passant par l'axe d'une radicelle plus âgée, mais encore incluse. L'épiderme est dédoublé au sommet; l'écorce a une initiale avec deux segments indivis et s'est dédoublée en bas; le cylindre central a aussi une initiale et deux segments latéraux. La radicelle a dissous non seulement l'endoderme, mais les deux assises suivantes, et à moitié la troisième. L'assise pilifère est encore intacte.

Fig. 39. Section longitudinale de la racine terminale du *Reseda cristallina*, passant par l'axe d'une radicelle qui vient de paraître au dehors. L'épiderme, triple au sommet, a séparé deux calottes de calyptre; l'écorce a une initiale avec deux segments indivis, et s'est seulement dédoublée à la base, où commence le raccord des plissements; le cylindre central a deux initiales. L'endoderme forme autour de la radicelle une poche simple, qui ne tardera pas à être digérée à la base, séparée à l'état de bonnet, et enfin exfoliée. C'est cette poche qui a digéré les trois assises corticales, y compris l'assise pilifère.

Fig. 40. Coupe transversale de la racine terminale, montrant la disposition quadrisériée des radicelles dans les Fumariacées, Papavéracées et Résédacées, avec rapprochement des quatre séries deux par deux.

PLANCHE IV.

Fig. 41. Portion d'une coupe longitudinale de la racine terminale du *Lychnis inclusa*, montrant le début d'une radicelle. Les six cellules péricycliques qui composent la file rhizogène se sont accrues et cloisonnées deux fois pour dégager le cylindre central en dedans, l'écorce au milieu, l'épiderme en dehors. La seconde cloison n'intéresse que les quatre cellules centrales; les deux cellules extrêmes constituent l'épistèle. Vers l'intérieur, le mamelon radicellaire a pressé sur le vaisseau annelé le plus externe et l'a rendu concave; vers l'extérieur, il a déjà dissous l'endoderme et la moitié de l'épaisseur de l'assise sus-endodermique.

Fig. 42. Portion d'une section transversale de la racine terminale du *Melandrium dioicum*, passant par deux origines de radicelles situées du même côté de la bande vasculaire, laquelle n'a encore épaissi que ses deux premiers vaisseaux. Les deux arcs péricycliques formés l'un de sept, l'autre de huit cellules, se sont cloisonnés deux fois tangentiellement pour dégager les trois régions avec leurs initiales. Chaque mamelon a digéré non seulement l'endoderme, mais encore l'assise sus-endodermique.

Fig. 43. Section transversale de la racine terminale du *Melandrium undulatum*, passant par une radicelle beaucoup plus avancée et près de sortir. La radicelle a comprimé et légèrement infléchi le faisceau ligneux et le faisceau libérien contre lesquels elle s'appuie. Elle a digéré l'endoderme et la presque totalité de l'écorce. Son épiderme, entier à la base, s'est cloisonné deux fois tangentiellement autour de l'extrémité, pour former deux calottes de calyptre. Son écorce a trois assises et se termine par deux cellules simples,

qui sont deux initiales, ou une initiale avec un segment indivis; à la base, commence à s'établir le raccord des endodermes par les cellules triplissées. Son cylindre central se termine par deux initiales, à partir desquelles le péricycle est distinct dans toute sa longueur.

Fig. 44. Section transversale d'une racine terminale du *Tunica velutina*, déjà pourvue de bois secondaire, passant par une radicelle avancée, mais pourtant un peu plus jeune que la précédente. La déviation, toujours facile à mesurer par rapport à la lame de bois primaire, est d'environ 45 degrés. La radicelle a digéré totalement l'endoderme et l'assise sus-endodermique; elle corrode en ce moment la troisième assise corticale, dont les cellules ont perdu leur turgescence et se montrent irrégulièrement dentelées sur leur face interne. L'épiderme, qui n'a qu'une ou deux cellules entières à la base, ne s'est encore cloisonné qu'une fois tangentiellement pour séparer une calotte de calyptre; cette calotte se cloisonne à son tour au sommet. L'écorce a deux assises et se termine par deux initiales, avec deux segments encore indivis; le raccord des endodermes par les cellules triplissées commence à s'établir à la base. Dans le cylindre central, le péricycle n'est distinct qu'à deux ou trois cellules du sommet.

Fig. 45. Section longitudinale de la racine terminale du *Gypsophila muralis*, passant par une radicelle en voie de sortie. Vers l'intérieur, elle a infléchi le vaisseau annelé, contre lequel elle s'appuie; vers l'extérieur, elle a pressé l'endoderme, qui, pour l'accompagner, a accru et cloisonné radialement ses cellules, en perdant ses plissements : d'où une poche digestive simple, qui a digéré les deux autres assises corticales et l'assise pilifère. Sous cette poche, l'épiderme de la radicelle, entier à la base, s'est cloisonné tangentiellement deux fois pour séparer deux calottes de calyptre. L'écorce a deux assises et se termine par cinq cellules simples, dont la médiane seule est une initiale, les autres des segments encore indivis. Le cylindre central a deux initiales au sommet.

Fig. 46. Portion d'une section longitudinale de la racine terminale du *Portulaca oleracea*, passant par une très jeune radicelle. Elle a infléchi en dedans le vaisseau annelé, et digéré en dehors non seulement l'endoderme, mais encore les deux tiers de l'épaisseur de l'assise sus-endodermique. L'épiderme, l'écorce et le cylindre central ont chacun deux initiales : celles du cylindre central ont pris une cloison transverse, celles de l'épiderme une cloison tangentielle; celles de l'écorce, au contraire, sont demeurées simples, pendant que les cellules annexes ont pris une cloison tangentielle.

Fig. 47. Section transversale de la racine terminale du *Portulaca oleracea*, passant par une radicelle un peu plus avancée. Sa déviation est d'environ 45 degrés; elle a refoulé le faisceau libérien correspondant. Elle a digéré complètement l'endoderme et l'assise sus-endodermique, et entre en contact avec la troisième assise corticale. Son épiderme s'est cloisonné au sommet pour former une première calotte de calyptre, mais son écorce est encore indivise. En bas, à gauche, trois cellules péricycliques prennent une cloison tangentielle, premier indice de la formation d'une seconde radicelle, disposée par rapport à la première comme dans la figure 42.

Fig. 48. Section transversale de la racine terminale de la même plante, passant par une radicelle plus avancée, en voie de sortir. Elle a digéré l'endoderme et toute l'écorce. Son épiderme, qui n'a que quelques cellules entières à la base, s'est cloisonnée deux fois tangentiellement pour former deux calottes de calyptre. Son écorce a deux assises à gauche, trois à droite, et se termine par une rangée de six cellules simples : deux initiales et quatre segments indivis ; en bas s'établit le raccord de l'endoderme avec les cellules triplissées. Son cylindre central a, au-dessus du niveau où le péricycle y devient distinct, cinq cellules simples : une initiale et quatre segments encore indivis.

Fig. 49. Section transversale de la racine terminale du *Calandrinia micrantha*, passant par une radicelle plus développée que les précédentes et venant de sortir. Elle a digéré l'endoderme et toute l'écorce. Son épiderme, entier dans le bas, s'est cloisonné quatre fois au sommet pour séparer quatre calottes de calyptre. Son écorce a trois assises sur les flancs et se termine par deux initiales, avec deux segments indivis ; elle raccorde en bas son endoderme à celui de la racine mère par l'intermédiaire des cellules triplissées. Dans le cylindre central, le péricycle est distinct jusque très près du sommet et se raccorde en bas avec le péricycle de la racine mère.

Fig. 50. Section transversale de la racine terminale du *Calandrinia micrantha*, passant par deux radicelles diamétralement opposées.

Planche V.

Fig. 51. Section transversale de la racine terminale du *Scleranthus laricifolius*, passant par l'axe d'une radicelle sur le point de sortir. Le cylindre central de la racine mère a produit du métaxylème contre le bois primaire, et aussi du bois et du liber secondaires. L'arc rhizogène a cinq cellules à gauche de la lame ligneuse primaire et seulement deux à droite; la radicelle a donc une déviation moyenne d'environ 35 degrés. Elle a digéré l'endoderme et les quatre assises corticales, pas encore l'assise pilifère. Son épiderme s'est cloisonné deux fois, la première près de la base, pour détacher deux calottes de calyptre. Son écorce, terminée par cinq cellules simples, une initiale et quatre segments encore indivis, s'est cloisonnée une fois sur les flancs et se raccorde à la base avec l'endoderme de la racine mère par l'intermédiaire des cellules triplissées.

Fig. 52. Section longitudinale de la racine terminale binaire du *Sedum Maximowiczii*, passant par l'axe d'une radicelle, qui vient de sortir, après avoir digéré l'endoderme, les deux assises corticales et l'assise pilifère. Son épiderme s'est cloisonné deux fois et a séparé deux calottes de calyptre. Son écorce, terminée par deux initiales, s'est cloisonnée une fois sur les flancs.

Fig. 53. Section longitudinale optique de la racine terminale binaire du *Mesembrianthemum cristallinum*, passant par l'axe d'une radicelle sur le point de sortir. Elle a digéré l'endoderme et l'unique assise corticale externe, pas encore l'assise pilifère. Ses trois régions sont distinctes; mais

les cellules du cylindre central seules se sont cloisonnées une fois à la base; l'écorce et l'épiderme sont encore indivis.

Fig. 54. Section longitudinale optique de la racine terminale binaire de l'*Amarantus chlorostachys*, passant par une jeune radicelle dont les trois régions sont séparées; les cellules du cylindre central et de l'épiderme commencent à se cloisonner. La radicelle a refoulé, en dedans le vaisseau annelé qu'elle touche, en dehors l'endoderme qui a aplati ses cellules et forme en ce moment une poche éphémère.

Fig. 55. Section longitudinale optique de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée, dans laquelle l'épiderme s'est cloisonné deux fois tangentiellement, tandis que l'écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée une seule fois sur les flancs. La radicelle a maintenant digéré non seulement l'endoderme, mais encore la seconde et à moitié la troisième assise corticale.

Fig. 56. Section longitudinale optique de la racine terminale binaire du *Chenopodium nitrariaceum*, passant par l'axe d'une radicelle au moment de sa sortie. Elle a digéré totalement l'endoderme et tout le reste de l'écorce. Son épiderme s'est cloisonné deux fois tangentiellement; son écorce, terminée par deux initiales, s'est divisée une seule fois sur les flancs.

Fig. 57. Section transversale de la racine terminale de l'*Atriplex tatarica*, passant par l'axe d'une radicelle qui vient de sortir. L'arc rhizogène a neuf cellules à droite de la lame ligneuse primaire et deux seulement à gauche; la déviation est donc assez grande. L'endoderme a suivi la croissance de la radicelle, en prenant des cloisons radiales, elles-mêmes munies de plissements; en un mot, il y a une poche, qui a digéré les trois assises corticales et l'assise pilifère. Sous cette poche, l'épiderme de la radicelle ne s'est cloisonné qu'une fois; son écorce, terminée au sommet par une initiale et deux segments indivis, s'est cloisonnée aussi une seule fois sur les flancs et raccorde en bas son endoderme avec celui de la racine mère par l'intermédiaire des cellules triplissées.

Fig. 58. Section longitudinale optique de la racine terminale binaire de l'*Arthrocnemum macrostachyum*, passant par l'axe d'une radicelle près de sortir. En dedans, elle a refoulé le vaisseau spiro-annelé contre lequel elle s'appuie; en dehors, elle a repoussé l'endoderme, qui a pris des cloisons radiales munies de plissements, de manière à lui former une poche digestive. Cette poche a déjà digéré les trois assises corticales, pas encore l'assise pilifère.

Fig. 59. Section transversale d'une racine terminale de *Basella rubra*, montrant les quatre faisceaux ligneux et libériens et la disposition des radicelles en face des faisceaux ligneux.

Fig. 60. Section longitudinale optique d'une racine terminale de *Basella rubra*, passant par l'axe d'une jeune radicelle, dont l'écorce est encore indivise et dont l'épiderme s'est cloisonné une fois. La radicelle a refoulé en dedans le vaisseau spiralé qu'elle touche, en dehors l'endoderme, qui forme d'abord une poche; mais celle-ci commence déjà à être digérée au sommet, et le

sera bientôt tout à fait, de sorte que la radicelle est dépourvue de poche bien avant sa sortie.

PLANCHE VI.

Fig. 61. Portion d'une section transversale d'une racine latérale adventive à sept faisceaux d'*Opuntia monacantha*, passant par l'axe d'une radicelle, née en face d'un faisceau ligneux. L'épiderme, simple à la base, s'est cloisonné trois fois au sommet pour former trois calottes de calyptre. L'écorce a une initiale accompagnée à gauche par deux segments indivis, à droite par un seul; elle s'est cloisonnée deux fois à la base, où commence le raccord des endodermes. Le cylindre central a une initiale. L'endoderme s'est d'abord un peu étendu sur le mamelon, mais bientôt il a été complètement dissous et la radicelle poursuit ensuite son action sur les autres assises corticales.

Fig. 62. Section longitudinale optique de la racine terminale du *Begonia oblongifolia*, passant par l'axe d'une jeune radicelle, dont l'écorce et l'épiderme sont encore indivis. La radicelle a digéré l'endoderme, ainsi que l'assise susendodermique, et commence à attaquer la troisième assise.

Fig. 63. Portion de la section transversale binaire de l'*Urtica Dodartii*, passant par l'axe d'une très jeune radicelle. Cinq cellules péricycliques, une à droite et quatre à gauche d'un faisceau ligneux, se sont accrues et divisées tangentiellement deux fois. La seconde cloison ne porte que sur les trois cellules médianes; les deux extrêmes formeront l'épistèle. L'endoderme suit le mamelon.

Fig. 64. Portion de la section transversale de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle plus âgée, sur le point de sortir. L'arc rhizogène comprend encore cinq cellules, quatre à gauche du faisceau ligneux, une à droite dédoublée radialement. L'endoderme forme une poche digestive simple. L'épiderme s'est cloisonné deux fois au sommet et a séparé deux futures calottes de calyptre. L'écorce, terminée par une initiale avec deux segments entiers, a trois assises à la base, où se fait le raccord des endodermes.

Fig. 65. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Cannabis sativa*, passant par l'axe d'une radicelle faiblement déviée vers la droite. Des cinq rangées péricycliques que l'on distingue à leurs parois plus sombres, l'externe donne l'épiderme de la radicelle; la seconde produit l'écorce et le sommet du cylindre central; les trois autres ensemble la région inférieure du cylindre. L'endoderme forme une poche digestive simple. L'écorce est terminée par une seule initiale, le cylindre central par une paire d'initiales.

Fig. 66. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire de l'*Humulus japonicus*, passant par l'axe d'une radicelle déviée vers la gauche. Les trois assises péricycliques primitives se distinguent nettement. L'écorce et le cylindre central procèdent de la seconde assise, l'épiderme de la première.

Fig. 67. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Celtis australis*, passant par l'axe d'une radicelle déviée à droite. La poche

endodermique est dédoublée au sommet. L'épiderme y est triple. L'écorce a une initiale au sommet et trois assises à la base, où se fait le raccord des endodermes. Le sommet du cylindre central dérive, avec l'écorce et l'épiderme, de l'assise péricyclique externe.

Fig. 68. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire de l'*Ulmus campestris*, passant par l'axe d'une radicelle fortement déviée à droite. Le péricycle simple produit toute la radicelle. L'endoderme l'enveloppe d'une poche simple. L'épistèle est très développée. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce et le cylindre central ont une paire d'initiales.

Fig. 69. Portion d'une section transversale d'une racine à quatre faisceaux de *Casuarina stricta*, passant par l'axe d'une jeune radicelle, dont l'écorce est encore indivise et dont l'épiderme a déjà pris une cloison tangentielle. L'endoderme forme une poche digestive dédoublée au sommet.

Fig. 70. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à six faisceaux de *Chloranthus inconspicuus*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'endoderme forme une poche digestive dédoublée au sommet. Les deux rangs de cellules péricycliques primordiales se distinguent nettement. L'assise péricyclique externe donne à la fois l'épiderme, l'initiale de l'écorce et celle du cylindre central. L'épiderme a déjà six épaisseurs de cellules ; les deux calottes externes sont dédoublées. L'écorce, terminée par une seule initiale, a latéralement trois assises, les deux externes provenant de la première péricyclique, l'interne de la seconde.

Fig. 71. Portion d'une section transversale de la racine terminale du *Piper excelsum*, comprenant tout le cylindre central binaire et passant par l'axe d'une radicelle sur le point de sortir, déviée de 45 degrés à droite. L'endoderme forme une poche digestive simple. L'épiderme a séparé cinq futures calottes de calyptre. L'écorce, terminée par une seule initiale, a cinq assises à la base, deux pour la zone externe centrifuge, trois pour la zone interne centripète. En bas, à droite, on voit le début d'une autre radicelle. Le cylindre central, l'écorce et l'épiderme viennent de s'y séparer ; les cellules médianes du cylindre central ont déjà pris une cloison transversale.

Fig. 72. Portion d'une section transversale d'une racine de *Myrica Gale*, passant par l'axe d'une radicelle et limitée à l'extrémité de cette radicelle. Les cellules de l'assise péricyclique externe se distinguent nettement et l'on voit qu'elles donnent non seulement l'épiderme et l'écorce, mais encore le sommet du cylindre central avec ses deux initiales.

Fig. 73. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à quatre faisceaux du *Salix alba*, passant par l'axe d'un mamelon radicellaire. Les cellules de l'assise péricyclique externe se sont divisées deux fois pour séparer l'écorce, l'épiderme et le sommet du cylindre central avec ses deux initiales. L'assise interne donne le reste du cylindre et aussi, dans le bas, la région interne de l'écorce. La digestion des cellules corticales s'opère à distance.

Fig. 74. Une autre radicelle de la même plante au même âge. Le rang péricyclique externe ne donne que l'épiderme et l'écorce. C'est le rang interne qui produit le cylindre central.

Fig. 75. État plus avancé d'une autre radicelle de la même plante. L'arc rhizogène y a trois rangs de cellules dont l'externe seule donne l'épiderme, l'écorce et la périphérie du cylindre central avec son unique initiale. L'endoderme forme une poche digestive simple. L'épiderme et l'écorce ont pris chacun une cloison tangentielle.

Fig. 76. Portion d'une section transversale à huit faisceaux du *Rheum acuminatum*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'endoderme forme une poche simple. L'épiderme est dédoublé, l'écorce aussi, à l'exception de sa cellule terminale, qui est son initiale. Cette initiale procède de la cellule médiane de gauche de l'arc rhizogène.

Fig. 77. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Rumex vesicarius*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'épiderme est encore indivis; l'écorce est terminée par une initiale provenant de la cellule médiane de gauche de l'arc rhizogène; cette initiale est accompagnée de chaque côté par un segment entier.

Fig. 78. Une radicelle de la même plante, plus âgée, sur le point de sortir. L'endoderme forme une poche simple. L'épiderme s'est divisé deux fois au sommet, l'écorce deux fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Fig. 79. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Phytolacca racemosa*, passant par l'axe d'une jeune radicelle fortement déviée vers la gauche. L'endoderme forme une poche double autour de l'extrémité. L'épiderme est encore indivis. L'écorce, terminée par une initiale accompagnée de chaque côté par deux segments encore entiers, ne s'est divisée qu'une fois vers la base, où commence pourtant le raccord des endodermes.

Fig. 80. Portion d'une section longitudinale de la racine terminale quaternaire du *Mirabilis Jalapa*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'endoderme forme une poche simple. L'épiderme est dédoublé; l'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, s'est dédoublée aussi sur les flancs.

Fig. 81. Portion d'une section transversale d'une racine latérale binaire de *Bougainvillea spectabilis*, passant par l'axe d'une radicelle déviée vers la gauche. L'endoderme forme une poche simple. L'épiderme a découpé trois futures calottes de calyptre. L'écorce, terminée par une initiale accompagnée de chaque côté par deux segments indivis, s'est cloisonnée deux fois vers la base, où se fait le raccord des endodermes.

Fig. 82. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à six faisceaux de l'*Hakea saligna*, passant par l'axe d'une radicelle. La poche digestive est simple. L'épiderme a pris quatre cloisons tangentielles au sommet; l'écorce n'en a que deux à la base. L'écorce et le cylindre central ont une paire d'initiales. L'épistèle est bien développée.

Fig. 83. Portion d'une section transversale d'une racine latérale binaire d'*Elæagnus tenuiflora*, passant par l'axe d'une radicelle fortement déviée vers la gauche. La poche digestive est double à l'extrémité. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale accompagnée de

chaque côté d'un segment indivis, est quadruple à la base. L'épistèle est bien développée. Le cylindre central a une paire d'initiales.

Fig. 84. Portion d'une section transversale d'une racine latérale binaire de *Daphne Blagayna*, passant par l'axe d'une radicelle fortement déviée à droite. L'endoderme forme une poche simple, digérée au-dessus de la base par la dilatation de l'écorce au niveau de l'épistèle. L'épiderme a sept assises au sommet. L'écorce a une initiale et deux segments entiers; elle a sept assises à la base où les endodermes se raccordent à travers l'épistèle. Le cylindre central a deux initiales.

Planche VII.

Fig. 85. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux de *Corylus bizantina*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les deux rangs de cellules primitives du péricycle se distinguent encore, et l'on voit que c'est le rang externe qui a donné à la fois l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. L'endoderme forme une poche simple.

Fig. 86. Portion d'une section transversale de la racine terminale à six faisceaux du *Quercus Libani*, passant par l'axe d'une radicelle, au premier état de développement. Les deux cellules médianes du rang externe du péricycle triple ont produit les trois paires d'initiales.

Fig. 87. Autre section de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle plus âgée. Les trois rangs de cellules péricycliques se distinguent encore nettement; dans l'axe même, il n'y en a que deux. La poche endodermique est dédoublée autour du sommet.

Fig. 88. Section longitudinale axile d'une radicelle de la même plante, sur le point de sortir de la racine terminale. On voit encore que les trois sortes d'initiales procèdent de la cellule péricyclique externe; il y a une initiale pour l'écorce et une pour le cylindre central. La poche est double.

Fig. 89. Portion d'une coupe transversale d'une radicelle primaire à quatre faisceaux du pivot du *Castanea vulgaris*, passant par l'axe d'une radicelle secondaire au début de sa formation. Le péricycle simple s'est divisé deux fois pour séparer les trois initiales. L'épiderme est déjà dédoublé au sommet et l'écorce sur les flancs. La poche endodermique est aussi dédoublée à l'extrémité.

Fig. 90. Section d'une autre radicelle primaire à cinq faisceaux du même pivot, passant par l'axe d'une radicelle secondaire plus âgée. Les deux rangs primitifs du péricycle double se distinguent encore bien; le rang externe a produit l'épiderme, l'écorce et l'extrémité du cylindre central. L'épiderme a six assises au sommet; l'écorce, terminée par une initiale avec un segment indivis, a cinq assises vers la base. L'épistèle est assez développée. La poche est quadruple autour de l'extrémité.

Fig. 91. Portion d'une section transversale de la racine terminale à quatre faisceaux du *Juglans nigra*, passant par l'axe d'une radicelle. Les six rangs primitifs du péricycle s'y distinguent encore bien; c'est le rang externe seul

qui a produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. La poche est simple. L'épiderme a quatre assises; l'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est quadruple à la base. L'épistèle est assez développée.

Fig. 92. Portion d'une section transversale d'une racine binaire de *Therium humifusum*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à gauche. La poche vient de se dédoubler au sommet.

Fig. 93. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à trois faisceaux de l'*Asarum europæum*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules primitives du péricycle simple sont encore bien distinctes. L'épiderme est double; l'écorce, terminée par une initiale et un segment entier, est triple à la base; l'épistèle est bien développée. La poche est simple.

Fig. 94. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux ligneux de l'*Aristolochia Clematitis*, passant par l'axe d'une radicelle. Les deux assises primitives du péricycle double se distinguent encore; c'est l'assise externe qui a produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. L'épiderme est quadruple; l'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est double ou triple à la base; l'épistèle est bien développée. Le cylindre central a une initiale. La poche est quadruple au sommet.

Fig. 95. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à six faisceaux de *Datisca cannabina*, passant par l'axe d'une radicelle au début de sa formation. Les trois assises primitives du péricycle se distinguent nettement; c'est l'externe qui a produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central.

Fig. 96. Section de la même racine, passant par l'axe d'une autre radicelle à un état un peu plus avancé. On distingue encore les trois rangs primitifs du péricycle, et l'on voit que le rang externe n'a produit que l'épiderme et l'écorce. C'est le second rang qui a formé le sommet du cylindre central. La poche est simple.

Fig. 97. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Ranunculus sericeus*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une jeune radicelle faiblement déviée vers la droite. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, est quadruple à la base; l'épistèle est bien développée. Le cylindre central a une seule initiale. La poche est encore simple.

Fig. 98. Portion d'une section transversale] de la racine terminale binaire du *Ranunculus Thomasii*, passant par l'axe d'une radicelle déviée à 45 degrés vers la droite. La poche, double dès la base, a cinq assises au sommet. Par contre, l'épiderme est encore simple; l'écorce, terminée par une seule initiale, est triple à la base; l'épistèle est bien développée.

Fig. 99. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à quatre faisceaux du *Ranunculus Flammula*, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée que les deux précédentes. La poche, triple au sommet, est simple

sur les flancs où elle est digérée par suite de l'épaississement de l'écorce. L'épiderme est triple; l'écorce, terminée par deux initiales, a six assises à la base; l'épistèle est bien développée. Le cylindre central n'a qu'une initiale.

Fig. 100. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Nigella damascena*, passant par l'axe d'une radicelle déviée à 45 degrés vers la gauche. La poche est simple à la base, triple ou quadruple au sommet. Par contre, l'épiderme est encore simple à l'extrémité et l'écorce, terminée par deux initiales, n'est que double à la base; l'épistèle est bien développée. Le cylindre central a une initiale.

Planche VIII.

Fig. 101. Portion d'une section transversale d'une racine latérale binaire de l'*Anona Cheirimolia*, passant par l'axe d'une radicelle déviée à 45 degrés vers la droite. Les deux rangs primitifs du péricycle se voient encore nettement. C'est le rang externe qui a produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central; le rang interne, quoique plus allongé, ne donne que la région inférieure du cylindre. L'épiderme est triple à l'extrémité; l'écorce, terminée par une initiale, est triple à la base; l'épistèle est bien développée. Le cylindre central a une initiale. La poche digestive est triple ou quadruple au sommet.

Fig. 102. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à six faisceaux de *Magnolia Coco*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les deux assises primitives du péricycle se distinguent encore bien. L'assise externe, quoique la moins accrue radialement, donne à la fois l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. L'épiderme a cinq assises au sommet; l'écorce, terminée par une initiale, en a quatre à la base; l'épistèle est peu développée. Le cylindre central a une initiale. La poche est triple au sommet et ses grandes cellules primitives se reconnaissent nettement.

Fig. 103. Portion d'une section transversale d'une racine latérale binaire de *Peumus Boldus*, passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à droite. Les deux rangs primitifs du péricycle se distinguent encore bien; c'est l'externe qui a produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. L'épiderme a cinq assises au sommet; l'écorce, avec son unique initiale, en a quatre à la base; le cylindre central a une initiale. La poche endodermique est simple. L'assise sus-endodermique a ses cellules épaissies en dehors et latéralement.

Fig. 104. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Calycanthus floridus*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules primitives du péricycle simple se reconnaissent encore nettement. On voit que c'est l'une des deux qui confinent au vaisseau le plus externe qui s'est dilatée en refoulant l'autre et qui a donné seule les initiales des trois régions. L'épiderme a six assises à l'extrémité; l'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est triple ou quadruple à la base; l'épistèle est bien développée; le cylindre central a une initiale. La poche est par endroits double ou quadruple à l'extrémité.

Fig. 105. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à trois faisceaux de *Menispermum canadense*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules primitives du péricycle sont encore bien distinctes. Ce sont les externes qui donnent à la fois l'épiderme, l'écorce et l'extrémité du cylindre central. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est triple ou quadruple à la base. Le cylindre central a une initiale. La poche est encore simple.

Fig. 106. Portion d'une section transversale d'une racine binaire d'*Epimedium alpinum*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une jeune radicelle déviée de 45 degrés à gauche. L'épiderme, dédoublé très près de la base, est triple au sommet; l'écorce, terminée par une paire d'initiales, est triple à la base. La poche est triple à l'extrémité.

Fig. 107. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à huit faisceaux de *Nuphar luteum*, passant par l'axe de deux radicelles au début de leur formation. Une première cloison tangentielle a séparé le cylindre central et l'épistèle.

Fig. 108. État plus avancé d'une radicelle de la même plante. Une seconde cloison tangentielle a séparé au sommet l'épiderme et l'écorce, tandis que l'épistèle reste indivise sur les flancs. La poche est simple.

Fig. 109. État plus avancé encore. L'épiderme est encore simple; l'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est double à la base. La poche est simple.

Fig. 110. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle plus âgée, ayant déjà traversé une partie de l'écorce lacuneuse. L'épiderme est quadruple au sommet et se dispose à se détacher de l'épistèle par son bord inférieur. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, a cinq assises à la base, déjà séparées par des lacunes; l'externe, plus tard mise à nu par la chute de l'épiderme, deviendra l'assise pilifère. Le cylindre central a deux initiales. L'épistèle est très longue et va s'amincissant vers la base. La poche est simple, digérée au-dessus de la base, appliquée contre l'épistèle plus haut, enfin recouvrant au sommet l'épiderme comme d'un bonnet. Les lacunes aérifères de la racine mère conservent leur forme et leur dimension au voisinage de la radicelle, ce qui prouve que celle-ci n'exerce aucune pression, que son action sur l'écorce est entièrement chimique. — *r*, poils dichotomes des lacunes corticales, produisant les faux diaphragmes.

Fig. 111. Section longitudinale de l'extrémité d'une racine de *Nuphar luteum*, montrant l'épiderme séparé dans toute son étendue de l'écorce, dont l'assise externe, après l'exfoliation successive des calottes de la calyptre, devient l'assise pilifère, comme chez les Monocotylédones. L'écorce n'a qu'une initiale, le cylindre central en a deux. L'écorce a quatre assises dans sa zone interne centripète lacuneuse, quatre ou cinq dans sa zone externe centrifuge sans méats.

Fig. 112. Portion d'une section transversale d'une racine latérale de *Nymphæa rubra*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'épiderme est séparé de

l'écorce seulement au sommet et est encore simple; l'épistèle, très développée, recouvre les flancs du cylindre central. L'écorce a une initiale et deux segments indivis. Le cylindre central a une initiale. La poche est simple; au milieu du flanc droit, elle commence à se dissocier. Les lacunes de l'écorce conservent leur dimension vis-à-vis de la radicelle.

Fig. 113. Portion d'une section transversale d'une racine latérale de *Victoria regia*, passant par l'axe d'une radicelle plus âgée que la précédente. L'épiderme, découpé seulement au sommet, est double. L'écorce a une initiale et deux segments indivis. L'épistèle revêt tout le flanc du cylindre central et se divise tangentiellement, comme l'écorce le fera plus tard. Le cylindre central a deux initiales. La poche, digérée autour de la base par l'élargissement de l'épistèle, forme un bonnet; elle est double au sommet.

Fig. 114. Portion d'une section longitudinale d'une racine latérale de *Nelumbo nucifera*, passant par l'axe d'une radicelle au début de sa formation. Les cinq cellules péricycliques ont pris une cloison tangentielle séparant le cylindre central; puis les trois médianes ont pris une seconde cloison et séparé l'écorce et l'épiderme; les deux autres constituent l'épistèle. L'endoderme et l'avant-dernière assise corticale forment une poche.

Fig. 115. Section longitudinale de la même racine, passant par une radicelle plus avancée. L'épiderme et l'écorce y sont encore simples. L'assise externe de la poche se désorganise au sommet.

Fig. 116. État plus avancé. L'épiderme et l'écorce sont encore simples. La poche est réduite à son assise endodermique.

Fig. 117. État plus âgé. L'épiderme est double; l'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est double sur les flancs. La poche est encore continue.

Fig. 118. Radicelle plus âgée encore, ayant traversé les trois quarts de l'épaisseur de l'écorce. L'épiderme est triple. L'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est quadruple à la base et divisée en deux zones doubles. La poche est digérée autour de la base et soulevée en forme de bonnet.

Planche IX.

Fig. 119. Section longitudinale axile de l'extrémité d'une racine de *Nelumbo nucifera*. L'épiderme a six assises au sommet; le trait noir denté est la ligne suivant laquelle chacune des cinq assises externes, dont l'ensemble forme la calyptre, se détache de la sixième, qui reste adhérente à la racine et constitue l'assise pilifère, comme chez les Dicotylédones ordinaires. L'écorce est terminée par une initiale accompagnée à gauche d'un, à droite de deux segments indivis; elle est formée d'une zone externe double et d'une zone interne triple. Le cylindre central a une initiale.

Fig. 120. Portion d'une coupe transversale de la racine terminale à quatre faisceaux de l'*Hibiscus Rosa-sinensis*, passant par l'axe d'une radicelle au

début de sa formation. Les huit cellules de l'arc rhizogène se sont cloisonnées pour séparer le cylindre central; les quatre médianes seulement se sont ensuite divisées pour séparer l'écorce et l'épiderme; les quatre autres forment l'épistèle.

Fig. 121. Section de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle beaucoup plus âgée, ayant traversé la plus grande partie de l'écorce. L'épiderme a huit assises au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, en a six à la base; l'épistèle est assez développée. La poche, simple sur les flancs, où elle va être digérée par l'épaississement de l'écorce (à droite), est double autour de l'extrémité.

Fig. 122. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire de l'*Anoda hastata*, passant par l'axe d'une radicelle ayant déjà traversé la moitié de l'écorce. L'épiderme a huit assises au sommet; les cellules externes sont irrégulièrement disposées. L'écorce, terminée par une paire d'initiales ayant de chaque côté un segment indivis, n'a que trois assises à la base; l'épistèle est peu développée. Le cylindre central a une seule initiale. On distingue encore les cellules péricycliques primitives qui ont constitué la radicelle, et l'on voit que c'est l'une des deux médianes, celle de gauche, qui, refoulant l'autre vers la droite, s'est placée dans l'axe et a produit les initiales des trois régions. La poche est simple, dédoublée seulement au sommet même.

Fig. 123. Portion d'une section transversale de la racine terminale à six faisceaux du *Sterculia alata*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état de développement. Le rang externe du péricycle double, quoique s'allongeant moins que l'autre, a séparé, par une première cloison tangentielle portant sur toutes ses cellules, le sommet et la périphérie du cylindre central, et, par une seconde cloison n'intéressant que les six cellules médianes, l'écorce et l'épiderme; les autres cellules, au nombre de trois ou quatre de chaque côté, constitueront l'épistèle. Le rang interne ne donne que la région interne et inférieure du cylindre. La poche, formée par l'endoderme et les assises corticales internes, compte déjà six à sept assises au sommet.

Fig. 124. Section de la même racine passant par l'axe d'une radicelle plus âgée. Les deux rangs des cellules péricycliques primitives se distinguent encore très bien. L'épiderme est encore simple. L'écorce, terminée par deux initiales et deux segments indivis, ne s'est divisée que deux fois à la base. L'épistèle est très développée. Le cylindre central a une initiale. La poche a augmenté d'épaisseur et compte neuf assises au sommet.

Fig. 125. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux du *Theobroma Cacao*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les deux assises primitives de l'arc rhizogène se distinguent très nettement. C'est l'assise externe, moins allongée que l'autre pourtant, qui, par deux cloisons tangentielles, a séparé le sommet du cylindre central, l'écorce et l'épiderme. L'épiderme a déjà huit assises au sommet. L'écorce, terminée par une paire d'initiales avec deux segments indivis, n'est que triple à la base. L'épistèle est très développée. La poche, simple sur les flancs, où elle est déjà digérée à droite, est double autour de l'extrémité.

Fig. 126. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à six faisceaux de *Heritiera minor*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les trois rangs primitifs de l'arc rhizogène se distinguent bien. C'est le rang externe seul qui a donné à la fois le sommet et la périphérie du cylindre central, l'écorce et l'épiderme. Les deux autres forment ensemble la région interne et inférieure du cylindre. L'épiderme se cloisonne très vite et dès sa base même; il a déjà sept assises au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales avec deux segments entiers de chaque côté, n'est divisée que deux ou trois fois à la base. La poche est double dans toute son étendue.

Fig. 127. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à six faisceaux de *Sparmannia africana*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules primitives de l'arc rhizogène simple se distinguent encore. L'épiderme a cinq assises au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, a trois assises à la base. La poche est double autour de l'extrémité.

Fig. 128. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à six faisceaux de *Ruyschia souroubea*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules primitives de l'arc rhizogène sont très nettes et l'on voit que c'est la médiane de droite, qui, refoulant celle de gauche, a produit les initiales des trois régions. L'épiderme, découpé très haut, est double au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est triple à la base. L'épistèle est mince et s'étend sur tout le flanc du cylindre. La poche, simple sur les flancs, est double au sommet.

Fig. 129. Portion d'une section longitudinale d'une racine latérale à sept faisceaux de *Calophyllum Calaba*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Des quatre assises péricycliques, c'est l'externe seule qui donne l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. La poche est simple.

Fig. 130. Portion d'une section longitudinale de la racine terminale binaire de l'*Hypericum pyramidatum*, passant par l'axe d'une radicelle au début de sa formation. Le cylindre central est seul séparé par le cloisonnement tangentiel des quatre cellules de l'arc rhizogène.

Fig. 131. État plus avancé de cette radicelle. L'écorce et l'épiderme sont séparés par un second cloisonnement tangentiel dans les deux cellules médianes de l'arc. Les deux autres cellules formeront l'épistèle. La poche a déjà digéré l'avant-dernière assise corticale.

Fig. 132. État plus avancé d'une radicelle de la même plante. Elle n'a plus qu'une assise à digérer pour sortir. La poche est simple. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales, est double à la base. Le cylindre central a aussi deux initiales.

Planche X.

Fig. 133. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à quatre faisceaux de *Hibbertia volubilis*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules primitives du péricycle unisérié se distinguent encore. L'épiderme

est encore simple; l'écorce, terminée par une initiale, est triple à la b
l'épistèle est assez développée. La poche est dédoublée très près de la
et compte déjà six assises au sommet.

Fig. 134. Portion d'une section transversale de la racine terminale quater
de l'*Euphorbia Lagascæ*, passant par l'axe d'une radicelle. L'épiderm
huit assises au sommet; l'écorce en a cinq à la base. La poche est d
autour de l'extrémité.

Fig. 135. Portion d'une section transversale de la racine terminale quater
du *Ricinus communis*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les
rangs des cellules péricycliques primitives se distinguent bien. C'est le
externe qui a donné à la fois le sommet du cylindre central, l'é
dédoublée à la base, et l'épiderme dédoublé au sommet. L'épistèle est
développée; la poche, double dès la base, est triple au sommet.

Fig. 136. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à
faisceaux de *Cistus ladaniferus*, passant par l'axe d'une radicelle. Les
rangs des cellules péricycliques primitives se distinguent encore bien
le rang externe qui a produit l'épiderme quadruple au sommet, l'é
quadruple à la base et le sommet du cylindre central. La poche est
druple au sommet.

Fig. 137. Portion d'une section transversale de la racine terminale bina
Bixa orellana, passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 de
gauche. Les cellules péricycliques primitives sont très nettes. L'ép
est quadruple au sommet, l'écorce quadruple à la base. La poc
dédoublée à l'extrémité.

Fig. 138. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à
faisceaux du *Carica cundinamarcensis*, passant par l'axe d'une rad
Le péricycle est simple et les cellules primitives se distinguent net
L'écorce a une initiale et deux segments indivis. La poche est simple.

Fig. 139. Une radicelle au même âge, née sur une racine latérale à
ceaux de la même plante. Le péricycle est double, et les deux
cellules primitives se reconnaissent aisément. C'est le rang extern
produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. La p
simple.

Fig. 140. Portion d'une section transversale d'une racine latérale
faisceaux de *Passiflora littoralis*, passant par l'axe d'une très jeun
celle. L'épiderme et l'écorce sont encore simples. La poche est simpl

Fig. 141. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à
ceaux de *Dorstenia Bahnii*, passant par une radicelle à un état un
avancé. L'épiderme est triple au sommet; l'écorce est double au
base. La poche est dédoublée au sommet.

Fig. 142. Portion d'une section longitudinale de la racine terminale bin
Fouquieria pulverulenta, passant par l'axe d'une jeune radicelle
de sortir. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée
initiale et deux segments indivis, est triple à la base. Le cylindre
une initiale. La poche est simple et a digéré les trois assises de l'éc

Fig. 143. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire de *Viola odorata*, passant par l'axe d'une radicelle déviée à gauche. L'épiderme est quadruple au sommet, l'écorce triple à la base. La poche est simple.

Fig. 144. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux de *Nepenthes phyllamphora*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'épiderme est double au sommet; l'écorce est double à la base. La poche est simple.

Fig. 145. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Geranium molle*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle faiblement déviée à droite. L'épiderme est quadruple au sommet; l'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est double à la base. La poche est dédoublée dans presque toute son étendue. Dans le liber, les tubes criblés seuls sont ombrés. Les vaisseaux du métaxylème sont en voie de formation.

Fig. 146. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Tropæolum majus*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules péricycliques primitives se reconnaissent encore nettement. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment, est triple à la base. La poche est simple.

Fig. 147. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire de l'*Oxalis valdiviana*, comprenant la majeure partie du cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle fortement déviée à gauche. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments, est double à la base; l'épistèle est très peu développée. La poche est simple. Dans les faisceaux libériens, les tubes criblés seuls sont ombrés; sur leur bord interne, l'assise génératrice du liber et du bois secondaires commence à fonctionner.

Fig. 148. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire de l'*Impatiens cristata*, comprenant la majeure partie du cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle. L'épiderme est simple au sommet; l'écorce, avec son unique initiale, est quadruple à la base; l'épistèle est peu développée. La poche est simple.

Planche XI.

Fig. 149. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Limnanthes Douglasii*, passant par l'axe d'une radicelle déviée à gauche et assez avancée. L'épiderme, simple tout le long des flancs, est quintuple au sommet. L'écorce, avec son initiale unique, est quadruple à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche est double autour de l'extrémité.

Fig. 150. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Linum Leoni*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à gauche. L'épiderme est double. L'écorce, terminée par une paire d'initiales étroites, est quadruple à la base. Le cylindre central a une grande initiale. La poche est simple.

est encore simple; l'écorce, terminée par une initiale, est triple à la base l'épistèle est assez développée. La poche est dédoublée très près de la base et compte déjà six assises au sommet.

Fig. 134. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire de l'*Euphorbia Lagascæ*, passant par l'axe d'une radicelle. L'épiderme a huit assises au sommet; l'écorce en a cinq à la base. La poche est double autour de l'extrémité.

Fig. 135. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Ricinus communis*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les trois rangs des cellules péricycliques primitives se distinguent bien. C'est le rang externe qui a donné à la fois le sommet du cylindre central, l'écorce dédoublée à la base, et l'épiderme dédoublé au sommet. L'épistèle est assez développée; la poche, double dès la base, est triple au sommet.

Fig. 136. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à trois faisceaux de *Cistus ladaniferus*, passant par l'axe d'une radicelle. Les deux rangs des cellules péricycliques primitives se distinguent encore bien. C'est le rang externe qui a produit l'épiderme quadruple au sommet, l'écorce quadruple à la base et le sommet du cylindre central. La poche est quadruple au sommet.

Fig. 137. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Bixa orellana*, passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à gauche. Les cellules péricycliques primitives sont très nettes. L'épiderme est quadruple au sommet, l'écorce quadruple à la base. La poche est dédoublée à l'extrémité.

Fig. 138. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à quatre faisceaux du *Carica cundinamarcensis*, passant par l'axe d'une radicelle. Le péricycle est simple et les cellules primitives se distinguent nettement. L'écorce a une initiale et deux segments indivis. La poche est simple.

Fig. 139. Une radicelle au même âge, née sur une racine latérale à cinq faisceaux de la même plante. Le péricycle est double, et les deux rangs de cellules primitives se reconnaissent aisément. C'est le rang externe qui a produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. La poche est simple.

Fig. 140. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à trois faisceaux de *Passiflora littoralis*, passant par l'axe d'une très jeune radicelle. L'épiderme et l'écorce sont encore simples. La poche est simple.

Fig. 141. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à trois faisceaux de *Disemma Hahnii*, passant par une radicelle à un état un peu plus avancé. L'épiderme est triple au sommet; l'écorce est double ou triple à la base. La poche est dédoublée au sommet.

Fig. 142. Portion d'une section longitudinale de la racine terminale binaire du *Frankenia pulverulenta*, passant par l'axe d'une jeune radicelle qui vient de sortir. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est triple à la base. Le cylindre central a une initiale. La poche est simple et a digéré les trois assises de l'écorce.

Fig. 143. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire de *Viola odorata*, passant par l'axe d'une radicelle déviée à gauche. L'épiderme est quadruple au sommet, l'écorce triple à la base. La poche est simple.

Fig. 144. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux de *Nepenthes phyllamphora*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'épiderme est double au sommet; l'écorce est double à la base. La poche est simple.

Fig. 145. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Geranium molle*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle faiblement déviée à droite. L'épiderme est quadruple au sommet; l'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est double à la base. La poche est dédoublée dans presque toute son étendue. Dans le liber, les tubes criblés seuls sont ombrés. Les vaisseaux du métaxylème sont en voie de formation.

Fig. 146. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Tropæolum majus*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules péricycliques primitives se reconnaissent encore nettement. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment, est triple à la base. La poche est simple.

Fig. 147. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire de l'*Oxalis valdiviana*, comprenant la majeure partie du cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle fortement déviée à gauche. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments, est double à la base; l'épistèle est très peu développée. La poche est simple. Dans les faisceaux libériens, les tubes criblés seuls sont ombrés; sur leur bord interne, l'assise génératrice du liber et du bois secondaires commence à fonctionner.

Fig. 148. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire de l'*Impatiens cristata*, comprenant la majeure partie du cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle. L'épiderme est simple au sommet; l'écorce, avec son unique initiale, est quadruple à la base; l'épistèle est peu développée. La poche est simple.

Planche XI.

Fig. 149. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Limnanthes Douglasii*, passant par l'axe d'une radicelle déviée à gauche et assez avancée. L'épiderme, simple tout le long des flancs, est quintuple au sommet. L'écorce, avec son initiale unique, est quadruple à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche est double autour de l'extrémité.

Fig. 150. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Linum Leoni*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à gauche. L'épiderme est double. L'écorce, terminée par une paire d'initiales étroites, est quadruple à la base. Le cylindre central a une grande initiale. La poche est simple.

Fig. 151. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Linum usitatissimum*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle plus avancée, sur le point de sortir. L'épiderme est quadruple à l'extrémité; l'écorce, terminée par deux initiales, est quintuple à la base. Le cylindre central a une grande initiale. La poche est simple.

Fig. 152. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à neuf faisceaux du *Citrus Aurantium*, passant par l'axe d'une radicelle. Les deux rangs des cellules primitives du péricycle se distinguent encore. C'est le rang externe qui a produit l'épiderme, l'écorce et l'extrémité du cylindre central. L'épiderme est sextuple au sommet; l'écorce, avec son unique initiale, est sextuple à la base. L'épistèle est assez développée. Le cylindre central a une seule initiale. La poche est dédoublée autour du sommet.

Fig. 153. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Khaya senegalensis*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules primitives du péricycle se distinguent encore. L'épiderme est triple au sommet; l'écorce, munie d'une paire d'initiales, est triple à la base. L'épistèle est assez développée. La poche est double autour de l'extrémité.

Fig. 154. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Simaruba excelsa*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules primitives du péricycle se distinguent très nettement. L'épiderme est sextuple au sommet. L'écorce, avec son unique initiale, est triple à la base. L'épistèle est bien développée. La poche est simple.

Fig. 155. Portion d'une section transversale d'une radicelle binaire d'*Ailantus glandulosa*, passant par une jeune radicelle fortement déviée à gauche. Les cellules primitives du péricycle sont faciles à distinguer. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, avec une initiale et deux segments entiers, est double à la base. La poche est double autour de l'extrémité.

Fig. 156. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Schinus Molle*, passant par l'axe d'une radicelle très jeune. L'épiderme est déjà dédoublé; l'écorce est encore simple. La poche est simple. Dans chaque faisceau libérien, en dedans des tubes criblés, on voit un canal sécréteur *cs*.

Fig. 157. Radicelle de la même plante, à un état plus avancé. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, avec sa paire d'initiales, est triple à la base. La poche est double au sommet.

Fig. 158. Portion d'une section transversale d'une racine latérale binaire de *Staphylea trifolia*, passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à gauche. Les cellules primitives du péricycle simple se distinguent encore. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment entier, est sextuple à la base. L'épistèle est très développée. La poche est simple.

Fig. 159. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire de l'*Acer platanoides*, passant par l'axe d'une radicelle. Les deux rangs primitifs du péricycle se distinguent nettement. C'est le rang externe qui a produit à la fois l'épiderme l'écorce et l'extrémité du cylindre central. L'épi-

derme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est triple à la base. L'épistèle est bien développée. Le cylindre central a une initiale. La poche est quadruple au sommet; à gauche, elle est double à partir de la base. Le vaisseau externe du faisceau ligneux correspondant s'est trouvé entraîné par la croissance radiale des cellules voisines et se trouve maintenant séparé des autres par deux rangs de cellules.

Fig. 160. Portion d'une section transversale de la racine terminale à six faisceaux de l'*Æsculus Hippocastanum*, passant par l'axe d'une radicelle. Les quatre rangs des cellules péricycliques primitives se distinguent nettement. Le rang externe seul a produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. Les trois autres n'ont formé que la partie interne et basilaire du cylindre. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, avec son initiale unique, est triple à la base. La poche est double à l'extrémité.

Fig. 161. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à trois faisceaux de *Malpighia punicifolia*, passant par l'axe d'une radicelle fortement déviée à droite. Un peu plus loin, cette même racine n'a plus que deux faisceaux. Les cellules péricycliques primitives se distinguent encore. L'épiderme est quadruple au sommet, l'écorce triple à la base. L'épistèle est peu développée. La poche est simple.

Fig. 162. Portion d'une section transversale d'une racine latérale binaire de *Polygala myrtifolia*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules péricycliques primitives se distinguent nettement. L'épiderme est double au sommet; l'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est triple à la base; l'épistèle est peu développée. La poche est dédoublée autour de l'extrémité.

Fig. 163. Portion d'une section transversale d'une racine ternaire de *Tremandra verticillata*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules péricycliques primitives se reconnaissent encore bien. L'épiderme est triple au sommet; l'écorce commence seulement à se dédoubler à la base; l'épistèle est assez développée. La poche est simple.

Planche XII.

Fig. 164. Portion d'une section transversale de la racine terminale ternaire du *Lotus tenuis*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules péricycliques primitives se distinguent encore. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est quadruple à la base. L'épistèle est bien développée. Le cylindre central a deux initiales. La poche est simple.

Fig. 165. Portion d'une section transversale de la racine ternaire de *Mimosa pudica*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules péricycliques primitives se distinguent très bien. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales, est quadruple à la base. L'épistèle est bien développée. Le cylindre central a deux initiales. La poche est simple.

Fig. 166. Portion d'une coupe transversale d'une racine terminale ternaire du

Scorpiurus muricatus, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules primitives du péricycle simple se reconnaissent nettement. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, avec son unique initiale, est quadruple à la base. L'épistèle est très courte. La poche est dédoublée au sommet.

Fig. 167. Portion d'une section transversale de la racine terminale ternaire du *Bonaveria atlantica*, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée. Les cellules primitives du péricycle, simple dans cette racine (dans d'autres il est double), se voient nettement. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale accompagnée à droite par deux segments entiers, à gauche par un seul segment, est quadruple à la base. L'épistèle est courte. La poche, simple sur les flancs, est quadruple au sommet.

Fig. 168. Portion d'une section transversale de la racine terminale ternaire du *Pocockia cretica*, passant par l'axe d'une radicelle sur le point de sortir. Les deux rangs primitifs des cellules péricycliques se distinguent encore. C'est le rang externe qui a donné à la fois l'épiderme, l'écorce et l'extrémité du cylindre central. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, est triple ou quadruple à la base. L'épistèle est très développée. La poche, simple à la base, double sur les flancs, est triple au sommet.

Fig. 169. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Soja hispida*, passant par l'axe d'une radicelle moins avancée que les précédentes. Les trois rangs primitifs du péricycle se distinguent très bien. C'est le rang externe qui a produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central; les deux autres n'ont donné que la partie inférieure, en ce moment la plus considérable, du cylindre. L'épiderme est quintuple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, n'est que double à la base. L'épistèle est assez développée. La poche est dédoublée autour de l'extrémité.

Fig. 170. Portion d'une section transversale d'une racine ternaire d'*Adenanthera pavonina*, passant par l'axe d'une radicelle. Les deux rangs primitifs du péricycle se voient très bien. Le rang externe seul a produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. L'épiderme est quintuple à l'extrémité. L'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est triple à la base. L'épistèle est bien développée. Le cylindre central a au sommet une seule initiale. La poche est double tout autour de l'extrémité.

Fig. 171. Portion d'une section transversale d'une racine binaire de *Cassia floribunda*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à gauche. Les cellules primitives du péricycle simple sont bien distinctes. L'épiderme vient de se dédoubler au sommet. L'écorce vient de se dédoubler à la base. L'épistèle est bien développée. La poche, dédoublée très près de la base, est triple autour de l'extrémité. L'assise sus-endodermique est munie d'un réseau de soutien *r*, qui est digéré par la poche.

Fig. 172. Section longitudinale axile d'une radicelle de *Cassia floribunda*, sur le point de sortir de la racine mère. L'épiderme est quintuple au sommet.

L'écorce, avec son unique initiale, est quintuple à la base, où elle se prolonge dans l'épistèle. La poche, triple au sommet, est détachée par digestion à la base du côté droit.

Fig. 173. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Trigonella fœnum-græcum*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules primitives du péricycle simple sont très nettes. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une paire d'initiales, est double à la base. L'épistèle est moyennement développée. La poche, double dès la base, est quadruple au sommet.

Fig. 174. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Lupinus varius*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Des trois rangs péricycliques, c'est l'externe seul qui, par deux cloisons tangentielles, sépare l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. L'épistèle est constituée par trois cellules de chaque côté. L'épiderme et l'écorce sont encore simples. La poche, double dès la base, est déjà triple et quadruple au sommet.

Fig. 175. Portion d'une section transversale d'une racine ternaire d'*Acacia linearis*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules primitives du péricycle simple se distinguent nettement. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, avec son unique initiale, est quadruple à la base. L'épistèle est bien développée. La poche, double dès la base, est déjà sextuple au sommet.

Fig. 176. Portion d'une section transversale d'une racine ternaire d'*Albizzia lophantha*, passant par l'axe d'une radicelle. Les deux rangs primitifs du péricycle se distinguent bien. C'est le rang externe qui a produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. La poche, double dès la base, est sextuple au sommet.

Fig. 177. Portion d'une section transversale de la racine terminale ternaire du *Lathyrus chrysanthus*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les deux rangs primitifs du péricycle se distinguent bien. C'est le rang externe seul qui a produit l'épiderme et l'écorce, tous deux encore simples, ainsi que le sommet du cylindre central. L'endoderme et l'assise corticale superposée forment ensemble une poche, double dès la base, déjà quadruple autour de l'extrémité.

Fig. 178. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Phaseolus Ricciardianus*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les deux rangs primitifs du péricycle se distinguent bien. C'est l'externe qui a produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. L'épiderme est triple au sommet; l'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est double à la base. La poche, quadruple au sommet, est formée par l'endoderme et par l'assise sus-endodermique.

Planche XIII.

Fig. 179. Portion d'une section transversale d'une racine ternaire du *Tamarindus indica*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Le péri-

cycle est triple, et c'est l'assise externe qui a produit l'épiderme et l'écorce, tous deux encore simples, ainsi que le sommet du cylindre central. La poche, triple au sommet, est formée par l'endoderme et l'assise corticale interne.

Fig. 180. Radicelle de la même plante à un état plus avancé. Les trois rangs primitifs du péricycle se distinguent encore. L'épiderme est dédoublé au sommet, l'écorce l'est aussi à la base; l'épistèle est bien développée. La poche est triple autour de l'extrémité.

Fig. 181. Coupe longitudinale axile de l'extrémité d'une radicelle de la même plante, sur le point de sortir. Le rang péricyclique externe se distingue encore. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales, est double ou triple à la base. La poche est quadruple autour de l'extrémité.

Fig. 182. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Cicer arietinum*, passant par une radicelle au premier état. Le péricycle est triple; c'est le rang externe qui, par deux cloisons tangentielles, sépare l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. La poche est double et formée par les deux assises corticales internes.

Fig. 183. État plus avancé d'une radicelle de la même plante. Les trois rangs péricycliques se distinguent encore. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment entier, est triple à la base. L'épistèle est assez développée. Le cylindre central a deux initiales. La poche, double ou triple à la base, est sextuple au sommet.

Fig. 184. Coupe longitudinale axile de l'extrémité d'une radicelle de la même plante, plus âgée et sur le point de sortir. Les cellules du rang péricyclique externe se distinguent toujours, et l'on voit qu'elles ont produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. L'épiderme a quatre ou cinq assises au sommet. L'écorce a deux initiales; le cylindre central aussi. Les trois sortes d'initiales sont un peu enchevêtrées, assez semblables et difficiles à distinguer. La poche a cinq ou six épaisseurs de cellules au sommet.

Fig. 185. Portion d'une section transversale de la racine terminale ternaire du *Pisum sativum*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Le péricycle est triple, et le rang externe, par deux cloisons, sépare l'épiderme, l'écorce et le cylindre central. La poche est triple dans toute son étendue.

Fig. 186. Radicelle plus âgée de la même plante. Les trois rangs péricycliques se distinguent très bien, et l'on voit encore que le sommet du cylindre central procède, avec les deux autres régions, du rang externe seul. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est double vers la base, où l'épistèle est assez développée. La poche est quintuple au sommet.

Fig. 187. Section longitudinale de la racine terminale binaire du *Bernardinia salicifolia*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules primitives se distinguent nettement. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par une paire d'initiales, est double à la base. Le cylindre central a aussi deux initiales. La poche est simple et a déjà digéré les deux assises corticales suivantes.

Fig. 188. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Cerasus arduennensis*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules primitives du péricycle sont bien distinctes. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, avec son unique initiale, est triple à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche est simple. L'assise sus-endodermique porte un réseau double *r*, digéré en face de la radicelle.

Fig. 189. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Prunus acuminata*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Le péricycle est double ; c'est le rang externe qui sépare les trois régions et l'épistèle. La poche est simple. L'assise sus-endodermique porte un réseau simple *r*, dont les bandes sont en voie de résorption vis-à-vis de la radicelle.

Fig. 190. État plus avancé d'une radicelle de la même plante. On voit toujours que c'est le rang péricyclique externe qui a tout produit. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, avec son unique initiale, est double à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche est simple et a digéré les deux assises internes de l'écorce.

Fig. 191. État plus avancé encore d'une radicelle de la même plante. Les deux rangs primitifs du péricycle se distinguent toujours bien. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, avec son initiale, est triple à la base. A travers l'épistèle se fait le raccord des endodermes.

Fig. 192. Portion d'une section transversale d'une racine binaire de *Spiræa flexuosa*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une jeune radicelle déviée à droite. Les cellules primitives du péricycle simple s'y voient nettement. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales, est dédoublée. La poche est simple. L'assise sus-endodermique porte un réseau *r*, à bandes refoulées dans les angles externes. Ces bandes sont résorbées en face de la radicelle.

Fig. 193. État plus avancé d'une radicelle de la même plante. L'épiderme est sextuple au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales et un segment indivis, est quintuple à la base, où s'opère, à travers l'épistèle, le raccord des endodermes. La poche, simple sur les flancs, est dédoublée au sommet.

Fig. 194. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Poterium Magnolii*, passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à gauche. Les cellules primitives du péricycle simple s'y voient nettement. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, est triple à la base ; l'épistèle est peu développée. La poche est simple.

Planche XIV.

Fig. 195. Portion d'une section transversale d'une racine à quatre faisceaux de *Quillaja saponaria*, passant par l'axe d'une radicelle assez âgée. Les deux rangs primitifs des cellules péricycliques s'y distinguent encore bien, et l'on voit que le rang externe a donné à la fois l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. L'épiderme est quintuple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale accompagnée de trois segments indivis, est triple à la base,

où l'épistèle est assez développée. La poche, double dès la base, est quadruple au sommet.

Fig. 196. Portion d'une coupe transversale d'une racine à trois faisceaux de *Ilex Aquifolium*, passant par l'axe d'une radicelle. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et trois segments entiers, est triple à la base. La poche, simple à la base, est triple au sommet.

Fig. 197. Portion d'une section transversale d'une racine binaire de *Vitis vinifera*, passant par l'axe d'une radicelle déviée à gauche et assez avancée. L'épiderme est quintuple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et trois segments entiers, est quintuple à la base, où elle renferme déjà des raphides; l'épistèle est assez développée. La poche est simple.

Fig. 198. Portion d'une coupe transversale d'une racine binaire de *Hovenia dulcis*, passant par l'axe d'une jeune radicelle déviée à gauche. Les cellules primitives du péricycle simple se distinguent nettement. L'épiderme est encore simple. L'écorce est dédoublée à la base, où l'épistèle est bien développée. La poche est simple.

Fig. 199. Radicelle de la même plante, à un état plus avancé. Les cellules péricycliques primitives s'y distinguent encore. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et trois segments entiers, est triple à la base. La poche est dédoublée dans toute son étendue.

Fig. 200. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Saxifraga Geum*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules primitives du péricycle simple se distinguent nettement. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment entier, est triple à la base. La poche est simple.

Fig. 201. Portion d'une section transversale d'une racine de *Hoteia japonica*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules primitives du péricycle s'y distinguent bien. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment entier, est triple à la base. La poche est dédoublée à droite.

Fig. 202. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Cuphea viscosissima*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Des deux rangs du péricycle, c'est l'externe qui a donné les trois régions. L'épiderme, l'écorce et la poche sont simples.

Fig. 203. État plus avancé d'une radicelle de la même plante. L'épiderme, simple sur le flanc, est double au sommet. L'écorce, terminée par une paire d'initiales, est quadruple à la base. La poche est simple.

Fig. 204. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux de *Lythrum virgatum*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules primitives du péricycle simple s'y voient encore nettement. L'épiderme est encore simple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et trois segments entiers, est double à la base. La poche est simple.

Fig. 205. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Lopezia coronata*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules primitives du péricycle simple s'y voient bien. L'épiderme est double dans

toute son étendue. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est triple à la base. L'épistèle est peu développée. La poche est simple.

Fig. 206. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Lavauxia Nuttalliana*, comprenant la majeure partie du cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle plus avancée que la précédente. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est quadruple à la base, où l'épistèle est assez développée. Le cylindre central a une initiale. La poche est simple.

Fig. 207. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire de l'*Œnothera Drummondii*, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée. Les cellules primitives du péricycle s'y distinguent encore nettement. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment entier, est triple à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche est simple.

Fig. 208. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux du *Circæa mollis*, comprenant la majeure partie du cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules péricycliques primitives s'y voient encore bien. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, avec sa paire d'initiales, est quadruple à la base, où l'épistèle est très courte. La poche est simple.

Fig. 209. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à quatre faisceaux de *Trapa natans*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules péricycliques primitives s'y voient encore nettement. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, avec sa paire d'initiales, est quadruple à la base, où l'épistèle est très courte. La poche est simple.

Fig. 210. État jeune d'une radicelle d'*Hippuris vulgaris*, montrant le double cloisonnement tangentiel des cellules rhizogènes pour former les trois régions et l'épistèle.

Fig. 211. Portion d'une section transversale d'une racine latérale ternaire de la même plante, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle plus avancée que la précédente. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une paire d'initiales et un segment entier, est quadruple à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche est simple et se trouve digérée à la base du côté gauche.

Fig. 212. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à six faisceaux de *Gunnera scabra*, comprenant la majeure partie du cylindre central et passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'épiderme est déjà dédoublé au sommet. L'écorce, avec son unique initiale, est dédoublée à la base. La poche est simple.

Fig. 213. Portion d'une coupe transversale d'une racine latérale quaternaire de *Combretum ovalifolium*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. L'épiderme est encore simple. L'écorce est dédoublée à la base; son initiale, accompagnée d'un segment entier, provient de l'une des deux cellules médianes de l'arc rhizogène. La poche est simple,

Fig. 214. Radicelle de la même plante, à un état plus avancé. Les cellules primitives du péricycle s'y voient toujours nettement. L'épiderme a six assises au sommet. L'écorce, avec sa paire d'initiales, est quadruple à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche est toujours simple.

PLANCHE XV.

Fig. 215. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à dix faisceaux de *Rhizophora Mangle*, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée. L'épiderme est encore simple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est triple à la base. L'épistèle est très longue. La poche est simple, incorporée à la base, digérée plus haut et soulevée au sommet en forme de bonnet. L'écorce moyenne de la racine mère a ses cellules munies sur les faces latérales de bandes épaissies, qui convergent en forme de roue sur les faces transverses. Ce réseau de soutien *r* est digéré par la radicelle.

Fig. 216. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux de *Melastoma cymosa*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules primitives du péricycle simple se voient encore bien. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et trois segments entiers, est triple à la base. L'épistèle est très développée. La poche, simple sur les flancs, est triple au sommet.

Fig. 217. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à trois faisceaux de *Centradenia grandiflora*, comprenant la majeure partie du cylindre central et passant par une radicelle assez avancée, qui n'a plus à digérer que deux assises corticales et l'assise pilifère. Les cellules péricycliques primitives s'y voient toujours bien. L'épiderme est quintuple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et quatre segments entiers, est double ou triple à la base. L'épistèle est très développée. La poche, simple sur les flancs, est double au sommet. Les mâcles cristallines paraissent résister à la digestion.

Fig. 218. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux de l'*Eucalyptus globulus*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Des trois assises péricycliques, c'est l'externe seule qui prend les deux cloisons tangentielles, séparatrices des trois régions. La poche est simple.

Fig. 219. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux de *Myrtus communis*, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée. Les deux rangs des cellules péricycliques primitives se voient encore nettement. C'est l'externe qui a produit, en même temps que l'épiderme et l'écorce, le sommet et la périphérie du cylindre central. L'épiderme a huit assises au sommet. L'écorce, avec son unique initiale, est quintuple à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche, double dès la base, a quatre ou cinq épaisseurs au sommet.

Fig. 220. Section longitudinale de la racine terminale quaternaire du *Men-*

Iselia Wrightii, passant par une radicelle sur le point de sortir. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est double à la base. La poche est simple et a digéré les trois assises externes de l'écorce.

Fig. 221. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Pastinaca sativa*, comprenant tout le cylindre central et passant par les axes de deux radicelles assez avancées, déviées toutes deux de 45 degrés à droite. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux ou trois segments entiers, est triple à la base, où l'épistèle est peu développée. La poche, simple sur les flancs, est double ou triple au sommet. On voit que la moitié droite des deux arcs oléifères supraligneux a été supprimée par la formation des radicelles. L'autre moitié de l'arc renferme en bas trois, en haut quatre canaux triangulaires *cs*, à gauche du médian.

Fig. 222. Portion d'une section transversale d'une racine latérale ternaire d'*Œnanthe pimpinelloides*, comprenant la majeure partie du cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle assez avancée, déviée de plus de 45 degrés à droite et par l'axe d'une autre radicelle au premier âge, déviée à gauche. La poche est simple. L'arc oléifère supraligneux a cinq canaux *cs*, en bas à droite. En haut, ses canaux latéraux sont supprimés par la formation des deux radicelles, le médian subsiste seul. Dans la radicelle de gauche, la cloison séparatrice du cylindre central est seule formée.

Fig. 223. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux de l'*Hedera Helix*, passant par l'axe d'une radicelle déviée de plus de 45 degrés à droite, qui dépasse le milieu du faisceau libérien. Les deux rangs péricycliques primitifs se voient encore bien. Ce sont les cellules du rang externe qui ont donné les trois régions. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est quintuple à la base. La poche est dédoublée au sommet. — *cs*, canaux sécréteurs.

Fig. 224. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux de *Pittosporum viridifolium*, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée, fortement déviée à gauche. Les cellules primitives du péricycle simple se distinguent encore. L'épiderme est quintuple au sommet. L'écorce, avec son unique initiale, est quintuple à la base, où l'épistèle est très peu développée. La poche est simple. — *cs*, canaux sécréteurs.

Fig. 225. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à huit faisceaux du *Griselinia littoralis*, passant par l'axe d'une radicelle. Les trois rangs primitifs du péricycle s'y distinguent nettement et l'on voit que c'est le rang externe qui a donné l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. L'épiderme a neuf assises au sommet. L'écorce, avec son unique initiale, a six assises à la base, où l'épistèle est très développée. La poche est double autour de l'extrémité.

Fig. 226. Section longitudinale d'une racine binaire de *Calluna vulgaris*, passant par l'axe d'une radicelle qui vient de sortir. L'épiderme et l'écorce sont encore simples. La poche est simple et n'a digéré que l'assise pilifère pour sortir.

Fig. 227. Coupe transversale d'une racine ternaire de cette même plante.

Fig. 228. Section longitudinale axile de l'extrémité de la racine de cette plante. L'épiderme est triple au sommet et chacune des deux calottes de la calyptre se compose de trois ou quatre cellules. L'écorce est et demeure simple dans toute son étendue. Le cylindre central a une initiale.

Fig. 229. Section longitudinale axile de l'extrémité d'une radicelle de *Rhododendron Maydenii*, montrant l'épiderme triple au sommet, avec une calotte de calyptre en voie d'exfoliation, et l'écorce simple dans toute son étendue.

Fig. 230. Portion d'une section transversale d'une racine latérale ternaire de *Clethra arborea*, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales et deux segments entiers, est quadruple à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche est simple. L'assise sus-endodermique est munie de bandes d'épaississement sur ses faces latérales, qui convergent en étoile sur les faces transverses *r*. Ces bandes sont digérées en face de la radicelle.

PLANCHE XVI.

Fig. 231. Section longitudinale axile de l'extrémité d'une radicelle de l'*Epacris longiflora*, montrant l'épiderme triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et six segments entiers, est double dans toute son étendue.

Fig. 232. Portion d'une section transversale d'une racine latérale binaire de *Lysimachia verticillata*, passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à droite. L'épiderme est encore simple. L'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est double à la base, où l'épistèle est bien développée. La poche est simple, incorporée à la base, digérée plus haut et soulevée en forme de petit bonnet.

Fig. 233. Section transversale presque complète d'une racine latérale à trois faisceaux de l'*Auricula ursi*, passant par l'axe d'une radicelle très avancée, sur le point de sortir. L'épiderme, simple sur les flancs, n'est que triple au sommet. L'écorce, avec sa paire d'initiales, n'est que triple à la base, où l'épistèle est peu développée. La poche est simple, digérée latéralement et entraînée au sommet sous forme d'un petit bonnet. L'épiderme, ainsi dénudé, commence à prolonger ses cellules en papilles, qui attaquent et digèrent l'écorce de la racine mère en bas, à droite.

ig. 234. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux de l'*Ardisia crispa*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'épiderme est encore simple. L'écorce commence à se dédoubler à la base. La poche est simple et encore continue.

Fig. 235. Portion d'une section transversale d'une racine binaire de *Theophrasta fusca*, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée, déviée de 45 degrés à gauche. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales et deux segments entiers, est double à la base. La poche est simple et s'apprête à se détacher sur les flancs pour former le bonnet terminal.

Fig. 236. Portion d'une section transversale d'une racine latérale du *Statice tatarica*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Les deux cloisons tangentielles ont séparé les trois régions. La poche est simple.

Fig. 237. Section longitudinale de la racine terminale binaire de la même plante, passant par l'axe d'une radicelle qui vient de sortir. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est triple à la base. La poche, double dès la base, est triple au sommet, et n'est pas encore détachée.

Fig. 238. Portion d'une section transversale d'une racine quaternaire de *Diospyros virginiana*, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée. L'épiderme est sextuple au sommet. L'écorce, terminée par une paire d'initiales, est quintuple à la base, où l'épistèle est très développée. La poche est double au sommet.

Fig. 239. Portion d'une section transversale d'une racine à cinq faisceaux de *Styrax officinalis*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules primitives du péricycle simple se distinguent nettement. L'épiderme est sextuple au sommet. L'écorce, avec son unique initiale, est triple à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche, simple sur les flancs, est triple au sommet.

Fig. 240. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Lycopersicum esculentum*, passant par l'axe d'une jeune radicelle, un peu tardive, déviée de 45 degrés à gauche. Le cylindre central a déjà produit du métaxylème, ainsi que du bois et du liber secondaires. L'épiderme vient de se dédoubler au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est triple à la base, où l'épistèle est peu développée. La poche, simple sur les flancs, est double autour de l'extrémité.

Fig. 241. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux du *Solanum albidum*, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée que la précédente. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, avec son unique initiale, est quadruple à la base, où l'épistèle est assez courte. La poche est quadruple au sommet.

Fig. 242. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire de l'*Echium strictum*, passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à gauche. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est triple à la base, où l'épistèle est courte. La poche est dédoublée autour de l'extrémité.

Fig. 243. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Nemophila discoidalis*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à gauche. Les cellules péricycliques primitives se voient encore bien. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est triple à la base, où l'épistèle est courte. La poche est simple.

Fig. 244. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Polemonium cœruleum*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une jeune radicelle, faiblement déviée à droite. Les cellules péricy-

cliques primitives sont très distinctes. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales et un segment entier, est triple à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche est simple.

Fig. 245. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Pharbitis purpurea*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules péricycliques primitives s'y distinguent bien. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales et deux segments entiers, est triple à la base. La poche est simple.

Fig. 246. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux de *Batatas insignis*, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée que la précédente. L'épiderme est quintuple au sommet. L'écorce, avec son unique initiale, est triple à la base, où l'épistèle est très courte. La poche est simple.

Fig. 247. Portion d'une section tranversale de la racine terminale quaternaire du *Convolvulus siculus*, passant par l'axe d'une radicelle encore plus âgée. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est quintuple à la base, où l'épistèle est assez développée, surtout à droite. La poche est simple, en voie de digestion au-dessus de la base, triple autour de l'extrémité. Le cylindre central a déjà produit du métaxylème et un peu de bois et de liber secondaires.

Fig. 248. Portion d'une section longitudinale de la racine terminale binaire du *Nolana prostrata*, passant par l'axe d'une radicelle qui vient de sortir. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales et un segment entier, est triple à la base. La poche est dédoublée au sommet et n'est pas encore dissociée à la base.

Planche XVII.

Fig. 249. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à trois faisceaux d'*Erythræa latifolia*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules péricycliques primitives se distinguent nettement. L'épiderme est encore simple. L'écorce, terminée par une initiale accompagnée de chaque côté par trois segments entiers, est double à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche est simple.

Fig. 250. Autre radicelle de la même plante, à un état plus avancé. L'épiderme n'est dédoublé que tout au sommet. L'écorce, terminée par une initiale avec deux segments entiers, est triple à la base. La poche est simple, digérée sur les flancs et entraînée au sommet en forme de bonnet.

Fig. 251. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à six faisceaux de *Menyanthes trifoliata*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Les cellules rhizogènes se sont cloisonnées deux fois pour produire les trois régions et l'épistèle. L'épiderme et l'écorce sont simples. La poche est simple.

Fig. 252. Autre radicelle de la même plante, à un état plus avancé. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment

entier, est quadruple à la base. L'épistèle est assez développée. La poche est simple et encore continue.

Fig. 253. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à quatre faisceaux de *Limnanthemum nymphoides*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules péricycliques primitives se distinguent bien. L'épiderme est simple. L'écorce, terminée par deux initiales, est double à la base. La poche est simple.

Fig. 254. Autre radicelle de la même plante, à un état plus avancé. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales, est triple à la base, où l'épistèle est bien développée. La poche est simple, digérée au-dessus de la base et entraînée au sommet en forme de bonnet.

Fig. 255. Portion d'une section transversale d'une racine latérale binaire de *Logania longifolia*, passant par l'axe d'une jeune radicelle déviée de 45 degrés à droite. Les cellules péricycliques se sont divisées deux fois tangentiellement pour séparer les trois régions. La poche est simple.

Fig. 256. Autre radicelle de la même plante, à un état plus avancé. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales et deux segments entiers, est double à la base en haut, triple en bas. La poche est dédoublée au sommet.

Fig. 257. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à sept faisceaux de *Vinca major*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Les cellules rhizogènes se sont cloisonnées deux fois tangentiellement pour produire les trois régions et l'épistèle. La poche est simple.

Fig. 258. Autre radicelle de la même plante, à un état plus avancé. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, avec son unique initiale, est quintuple à la base, où l'épistèle est très courte. La poche est simple.

Fig. 259. Portion d'une section transversale d'une racine latérale binaire de l'*Apocynum hypericifolium*, passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à gauche. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est quadruple à la base; l'épistèle est très courte. La poche est simple.

Fig. 260. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Periploca græca*, passant par l'axe d'une radicelle. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est quadruple à la base; l'épistèle est très courte. La poche est simple.

Fig. 261. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Fraxinus americana*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules primitives du péricycle simple se distinguent encore nettement. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, avec son unique initiale, est quadruple à la base, où l'épistèle est courte. La poche est simple.

Fig. 262. Portion d'une section transversale d'une racine latérale quaternaire de *Veronica Buxbaumii*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle assez avancée. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment entier, est quadruple à la base, où l'épistèle est courte. La poche est simple et encore continue.

Fig. 263. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Lophanthus chinensis*, comprenant la majeure partie du cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à gauche. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est triple à la base. La poche est simple.

Fig. 264. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Leonurus tataricus*, comprenant la majeure partie du cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à gauche. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale avec trois segments entiers, est triple à la base, où l'épistèle est très courte. La poche est simple et commence à s'amincir au-dessus de la base, en haut.

Fig. 265. Portion d'une section transversale de la racine terminale quinaire du *Nematanthus Guilleminianus*, passant par l'axe d'une radicelle très jeune. Les six cellules rhizogènes se distinguent bien, et l'on voit que c'est la médiane de gauche qui, refoulant l'autre, produit les trois initiales. L'épiderme et l'écorce sont encore simples. La poche est simple.

Fig. 266. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Sesamum orientale*, passant par l'axe d'une radicelle faiblement déviée à gauche. Les cellules péricycliques primitives se reconnaissent bien; c'est la médiane de gauche qui donne les trois initiales. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est double à la base. La poche est simple.

Planche XVIII.

Fig. 267. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Catalpa Bungei*, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée. L'épiderme est sextuple au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales et deux segments indivis, est quintuple à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche est simple, digérée à droite au-dessus de la base.

Fig. 268. Portion d'une section transversale d'une racine binaire d'*Acanthus longifolius*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle assez avancée, déviée de 45 degrés à droite. Les cellules péricycliques primitives s'y voient encore bien. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est quadruple à la base, où l'épistèle est assez courte. La poche est simple.

Fig. 269. Section longitudinale d'une racine terminale binaire de l'*Hebenstreitia dentata*, passant par l'axe d'une radicelle sur le point de sortir. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est double à la base, où l'épistèle est très courte. La poche est simple et n'a plus à digérer que l'assise pilifère pour apparaître au dehors.

Fig. 270. Portion d'une section transversale d'une racine latérale de *Myoporum acuminatum*, comprenant la majeure partie du cylindre central et passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules péricycliques primitives se distinguent bien. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par deux

initiales, est double à la base, où l'épistèle est très courte. La poche est double autour de l'extrémité.

Fig. 271. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Verbena striata*, passant par l'axe d'une radicelle faiblement déviée vers la gauche. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est triple à la base, où l'épistèle est peu développée. La poche est simple.

Fig. 272. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Plantago Lœflingii*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle déviée de 35 degrés à droite. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, est triple à la base ; l'épistèle est assez développée. La poche est simple.

Fig. 273. Section longitudinale axile de la racine transversale binaire du *Campanula azurea*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est double à la base, où l'épistèle est relativement assez développée. La poche est simple.

Fig. 274. Section longitudinale axile de la racine terminale du *Lobelia Cliffortiana*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'épiderme et l'écorce sont encore simples. L'épistèle est dédoublée. La poche est simple.

Fig. 275. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Sicyos angulatus*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Les cellules péricycliques s'y sont cloisonnées deux fois tangentiellement pour donner les trois régions et l'épistèle. La poche est simple.

Fig. 276. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, munie d'une seule initiale, est triple à la base. L'épistèle est bien développée. Le cylindre central a une initiale. La poche est dédoublée au sommet.

Fig. 277. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Benincasa cerifera*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Les cellules péricycliques se sont dédoublées tangentiellement deux fois pour produire les trois régions et l'épistèle. La poche est simple.

Fig. 278. Radicelle plus âgée de la même plante. Les cellules péricycliques primitives s'y voient encore nettement. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, pourvue d'une initiale issue de la cellule médiane de gauche, accompagnée d'un segment indivis, est double à la base. L'épistèle est relativement très développée. La poche est encore simple.

Fig. 279. Radicelle de la même plante encore plus avancée. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est quadruple à la base, où l'épistèle est très développée.

Fig. 280. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Lagenaria vulgaris*, passant par l'axe d'une radicelle. Les cellules primitives du péricycle simple se reconnaissent encore. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments entiers, est

triple à la base, où l'épistèle est très courte. La poche est double autour de l'extrémité.

Fig. 281. Portion d'une section transversale d'une racine terminale quaternaire du *Cucumis Melo*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. L'assise externe du péricycle double donne à la fois l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central, ainsi que l'épistèle très développée. La poche est double dans toute son étendue, formée à la fois par l'endoderme et l'assise sus-endodermique.

Fig. 282. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Cucurbita Pepo*, passant par une radicelle au premier état. Le rang externe du péricycle triple s'est cloisonné deux fois et a produit l'épiderme, l'écorce, le sommet du cylindre central, ainsi que l'épistèle très développée. La poche, formée par l'endoderme et l'assise centrale interne, est double ou triple à la base; au sommet elle compte déjà six ou sept assises cellulaires.

PLANCHE XIX.

Fig. 283. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à cinq faisceaux d'*Asperula taurina*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état.

Fig. 284. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée. Les cellules péricycliques primitives se distinguent encore. L'épiderme, simple sur les flancs, est triple au sommet. L'écorce, pourvue d'une seule initiale, est quadruple à la base, où l'épistèle est très courte. La poche est simple et encore continue.

Fig. 285. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Cephalanthus occidentalis*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état, déviée à droite.

Fig. 286. Portion d'une section transversale de la même racine plus âgée, comprenant la plus grande partie du cylindre central, déjà muni de bois et de liber secondaires, et passant par l'axe d'une radicelle plus avancée, déviée à gauche. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est quadruple à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche est simple, digérée sur les flancs et emportée au sommet en forme de bonnet.

Fig. 287. Portion d'une section longitudinale axile de la racine terminale binaire du *Valerianella fallax*, passant par l'axe d'une radicelle qui vient de sortir. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est triple à la base, où l'épistèle est très courte. La poche est simple et a digéré les quatre assises de l'écorce.

Fig. 288. Portion d'une coupe transversale d'une racine latérale binaire de l'*Adoxa Moschatellina*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle déviée de 45 degrés à gauche. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales et deux segments entiers, est

double à la base, où l'épistèle est courte. La poche est simple, digérée latéralement et entraînée en forme de bonnet.

Fig. 289. Portion d'une section transversale d'une racine latérale quaternaire de *Sambucus nigra*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Le péricycle est triple, et c'est le rang externe qui, par deux cloisons tangentielles, a séparé l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central, ainsi que l'épistèle. La poche est déjà dédoublée.

Fig. 290. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée. Les trois assises primitives du péricycle se distinguent encore nettement, et l'on voit que l'initiale du cylindre central procède de la cellule médiane du rang externe. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, pourvue d'une seule initiale, est quintuple à la base, où l'épistèle est assez développée. La poche est double dans presque toute son étendue.

Fig. 291. Portion d'une section transversale d'une racine latérale ternaire de *Viburnum rigidum*, passant par une radicelle au premier état. Des deux assises péricycliques, c'est l'externe qui, par deux cloisons tangentielles, a produit l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. La poche est simple.

Fig. 292. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle plus âgée. Les cellules primitives du péricycle double se distinguent encore nettement. L'épiderme est sextuple au sommet. L'écorce, terminée par une paire d'initiales provenant de deux cellules primitives voisines, est quadruple à la base. L'épistèle est bien développée. La poche est double à l'extrémité. Le réseau sus-endodermique est digéré par elle, avant les cellules qui le portent.

Fig. 293. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Dipsacus laciniatus*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une jeune radicelle déviée de 35 degrés à gauche. Les cellules péricycliques primitives se distinguent bien. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, pourvue d'une initiale et de deux segments entiers, est double à la base. La poche est simple.

Fig. 294. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Cichorium Intybus*, passant par l'axe d'une très jeune radicelle déviée à droite. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, munie de deux initiales, est double à la base. La poche est simple.

Fig. 295. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Scorzonera hispanica*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. L'épiderme et l'écorce sont encore simples. La poche est simple.

Fig. 296. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Carduncellus mitissimus*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle au premier état, déviée de 45 degrés à droite. La cloison séparatrice de l'écorce et de l'épiderme vient seulement de se former dans les deux cellules médianes.

Fig. 297. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par

l'axe d'une radicelle plus avancée. La cloison séparatrice de l'écorce et de l'épiderme s'est prolongée dans les quatre cellules médianes et est ainsi achevée. La poche est simple.

Fig. 298. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle plus âgée, déviée à gauche. L'épiderme est encore simple. L'écorce, munie d'une initiale et d'un segment indivis, est double ou triple à la base. La poche est double autour de l'extrémité. Dans ces trois dernières figures, on voit les méats oléifères *cs* creusés entre l'endoderme et l'assise sus-endodermique ; ils sont refoulés par la poche.

Fig. 299. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Callistephus sinensis*, comprenant la totalité du cylindre central et passant par l'axe de deux radicelles déviées d'environ 45 degrés à droite. La radicelle inférieure est au premier état : les trois régions viennent de s'y séparer. La radicelle supérieure est plus âgée. L'épiderme y est double au sommet. L'écorce, munie d'une seule initiale, y est double à la base, où l'épistèle est très courte. La poche y est dédoublée au sommet même. Les canaux oléifères endodermiques supralibériens *cs*, n'étant qu'au nombre de trois à cinq, ne sont pas intéressés par la formation des radicelles, et la poche ne les déplace pas.

Monocotylédones (pl. XX-XXIII).

Planche XX.

Fig. 300. Portion d'une section transversale d'une racine terminale à seize faisceaux de *Zea Mays*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état, située en face d'un faisceau libérien. La première cloison tangentielle intéresse les sept cellules de l'arc rhizogène. La seconde ne découpe que les trois cellules médianes. Les quatre autres forment l'épistèle.

Fig. 301. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle plus âgée. Les cellules péricycliques primitives se distinguent encore nettement. L'épiderme est double dans toute son étendue. L'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est double latéralement. L'épistèle occupe tout le flanc et est triple au milieu. La poche, simple sur le flanc où elle sera plus tard incorporée, est dédoublée au sommet, où elle sera plus tard détachée en forme de bonnet.

Fig. 302. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à douze faisceaux de *Saccharum officinarum*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état, située en face d'un faisceau libérien, point où le péricycle est double. Le rang externe seul a subi le double cloisonnement tangentiel, qui sépare le sommet du cylindre central, l'écorce, l'épiderme et l'épistèle. Le rang interne ne donne que la base du cylindre. La poche est simple.

Fig. 303. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par une radicelle plus avancée. L'épiderme est dédoublé dans sa partie médiane. L'écorce est encore simple. L'épistèle occupe tout le flanc et n'est double qu'en haut. La poche est dédoublée autour de l'extrémité.

Fig. 304. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle encore plus âgée. L'épiderme est quintuple au sommet. L'écorce, munie d'une initiale, est double ou triple latéralement. L'épistèle, qui couvre tout le flanc, a cinq assises au milieu, où elle a digéré la poche au-dessus de sa base, qui est incorporée. Le reste de la poche, double autour du sommet, est entraîné en forme de bonnet.

Fig. 305. Portion d'une section transversale de la racine terminale de l'*Elymus arenarius*, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée, située en face d'un faisceau libérien. L'épiderme n'est séparé de l'écorce qu'au sommet; il est quintuple. L'écorce, avec son unique initiale, a quatre ou cinq assises latéralement. L'épistèle couvre tout le flanc et est quintuple vers son milieu. La poche est double dès la base, triple autour du sommet.

Fig. 306. Portion d'une section transversale d'une racine latérale de *Scirpus lacustris*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état, située en face d'un faisceau libérien. La cloison interne, séparatrice du cylindre central, découpe les trois cellules de l'arc péricyclique; l'externe, séparatrice de l'épiderme et de l'écorce, n'intéresse que la cellule médiane; les deux autres formeront l'épistèle sur les flancs du cylindre. La poche est simple.

Fig. 307. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée. L'épiderme et l'écorce sont encore simples. L'épistèle s'est dédoublée dans sa région supérieure en restant simple à la base. La poche, simple sur les flancs, est double tout autour de l'extrémité.

Fig. 308. Portion d'une section transversale d'une racine latérale de *Cyperus alternifolius*, passant par une radicelle au premier état, située en face d'un faisceau ligneux. La cloison interne intéresse quatre cellules péricycliques; l'externe ne découpe que les deux médianes; les deux autres formeront l'épistèle.

Fig. 309. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée, située en face d'un faisceau libérien. L'épiderme et l'écorce sont encore simples. L'épistèle, qui couvre tout le flanc, est double dans sa région supérieure. La poche est dédoublée au sommet.

Fig. 310. Radicelle encore plus avancée de la même plante, située à la fois en face d'un faisceau libérien et d'un faisceau ligneux. L'épiderme est dédoublé au sommet. L'écorce a commencé à se dédoubler à gauche. L'épistèle est double. La poche est double au sommet.

Fig. 311. Portion d'une section transversale d'une racine latérale ternaire d'*Aponogeton distachyum*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle assez avancée, ayant traversé la moitié de l'épaisseur de l'écorce. L'épiderme est sextuple au sommet. L'écorce, pourvue d'une seule initiale, est sextuple à sa base. Elle se prolonge par une épistèle très développée, qui va s'épaississant vers le bas, pour s'amincir ensuite brusquement et se réduire à la base même à un seul rang de cellules. La poche, incorporée à la base autour de la partie rétrécie de l'épistèle, est digérée

latéralement par l'épaississement de l'épistèle, et emportée en forme de bonnet, qui est double autour de l'extrémité.

Fig. 312. Portion d'une section transversale d'une racine latérale quaternaire de *Potamogeton natans*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle assez avancée, sur le point de sortir de l'écorce. L'épiderme, dont le bord est détaché, est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est quintuple à la base. L'épistèle, renflée en son milieu, se rétrécit progressivement à la base. La poche est simple, incorporée dans son anneau basilaire à la partie rétrécie de l'épistèle, digérée en face de sa partie élargie et entraînée au sommet en forme de bonnet.

Fig. 313. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à huit faisceaux de l'*Alocasia Boryi*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Les cellules péricycliques primitives se distinguent nettement. L'épiderme est encore simple. L'écorce, terminée par une initiale et un segment indivis, est dédoublée latéralement. L'épistèle, qui couvre presque tout le flanc, est double à la base. La poche est double autour de l'extrémité.

Fig. 314. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par une radicelle plus avancée que la précédente. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est triple ou quadruple à la base. L'épistèle, très développée, est épaissie vers son milieu et très mince à la base. La poche, incorporée autour de la base mince de l'épistèle, est digérée en face de l'épaississement et entraînée en forme de bonnet, double au sommet.

Fig. 315. Portion d'une section transversale d'une racine latérale de *Richardia africana*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Les cellules péricycliques ont pris les deux cloisons tangentielles, la première portant sur sept cellules, la seconde sur les trois médianes seulement. La poche est formée par les trois assises corticales internes, dont les deux intérieures se dédoublent aussitôt ; elle est donc quintuple au sommet.

Fig. 316. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle plus âgée. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales, a cinq ou six assises à la base. L'épistèle est très développée. La poche est quadruple autour de l'extrémité.

Fig. 317. Portion d'une section transversale d'une racine latérale de *Tornelia fragans*, passant par l'axe d'une très jeune radicelle. Les cellules péricycliques primitives se distinguent nettement. L'épiderme est encore simple. L'écorce, munie de deux initiales et d'un segment indivis, est double à la base. L'épistèle est relativement peu développée. La poche est formée par l'endoderme et les deux assises internes de l'écorce ; elle est donc triple dans toute son étendue.

PLANCHE XXI.

Fig. 318. Portion d'une section longitudinale d'une racine latérale de *Pistia*

Stratiotes, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée, qui a traversé la lacune et s'apprête à attaquer la zone corticale externe. L'écorce et l'épiderme ne sont pas séparés. L'épistèle recouvre tout le cylindre central ; terminée par une initiale, elle est triple au milieu et se réduit à une assise à la base. Le cylindre central se termine aussi par une initiale. La poche se compose de deux parties. L'interne, formée par l'endoderme, est quadruple ; elle est dédoublée dès la base et son assise externe s'est divisée progressivement deux fois de dehors en dedans. L'externe, formée par les deux assises corticales sus-endodermiques, commence à se résorber au sommet, où elle presse contre l'écorce externe. Dans la lacune, on voit en bas une cellule à raphides.

Fig. 319. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à douze faisceaux de *Typha latifolia*, passant par l'axe d'une radicelle très jeune. L'épiderme et l'écorce sont encore simples. La poche est dédoublée autour de l'extrémité.

Fig. 320. Radicelle de la même plante, un peu plus avancée. L'écorce, terminée par une paire d'initiales provenant des deux cellules médianes de l'arc rhizogène, est dédoublée. L'épiderme est encore simple. La poche est double à l'extrémité.

Fig. 321. Radicelle de la même plante, plus âgée. L'épiderme est double. L'écorce, terminée par une paire d'initiales, est quadruple à la base. L'épistèle est très développée. La poche est double au sommet.

Fig. 322. Radicelle de la même plante, un peu plus âgée encore. L'épiderme est triple au sommet, sous la poche double.

Fig. 323. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à quatorze faisceaux de *Pandanus javanicus*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. L'épiderme et l'écorce sont simples. La poche est simple et encore continue.

Fig. 324. Radicelle plus âgée de la même plante. L'épiderme vient de se cloisonner au sommet. L'écorce est encore simple. L'épistèle est très développée. La poche commence à dissocier et à résorber ses cellules au sommet.

Fig. 325. Radicelle de la même plante, encore plus âgée. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et cinq segments indivis, est dédoublée plus bas. L'épistèle est très développée. La poche persiste autour de la base, mais a disparu complètement autour de l'extrémité.

Fig. 326. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à douze faisceaux d'*Areca rubra*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. L'épiderme et l'écorce viennent de se séparer dans les deux cellules médianes de l'arc rhizogène. La poche est dédoublée au sommet.

Fig. 327. Portion d'une section transversale d'une racine latérale d'*Hyophorbe amaricaulis*, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée. L'épiderme simple, puis double sur les flancs, a huit assises au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, est quintuple à la base. L'épistèle est peu développée.

La poche est résorbée sur les flancs et entraînée au sommet en forme de bonnet.

Fig. 328. Portion d'une section transversale d'une racine latérale de *Chamædorea aurantiaca*, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée. L'écorce de la racine renferme des fibres isolées *f*. L'épiderme a dix assises au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, en a cinq à la base. La poche est triple dans presque toute son étendue.

Fig. 329. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à dix-huit faisceaux de *Juncus maritimus*, passant par l'axe d'une radicelle située en face d'un faisceau libérien. L'épiderme et l'écorce, séparés seulement dans la cellule médiane de l'arc rhizogène, sont simples tous deux. L'épistèle est très développée. La poche est double autour du sommet.

Fig. 330. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à douze faisceaux de *Luzula maxima*, passant par l'axe d'une radicelle située en face d'un faisceau libérien. L'épiderme et l'écorce ne sont séparés qu'au sommet et encore simples. L'épistèle est très développée. La poche est dédoublée seulement au sommet.

Fig. 331. Portion d'une section longitudinale de l'extrémité d'une racine latérale de *Butomus umbellatus*, passant par l'axe d'une radicelle au début de sa formation. Le cylindre central seul est séparé. L'endoderme, demeuré indivis en face de la radicelle, dédoublé partout ailleurs, forme une poche, qui commence à digérer l'avant-dernière assise corticale.

Fig. 332. Radicelle de la même plante, un peu plus avancée. La poche a déjà digéré deux assises corticales. L'épiderme et l'écorce ne sont pas encore séparés.

Fig. 333. État plus avancé. L'épiderme et l'écorce sont séparés dans les deux cellules médianes; les autres forment l'épistèle.

Fig. 334. État plus avancé encore. L'épiderme est encore simple. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est double à la base. La poche est toujours simple.

Fig. 335. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Commelina communis*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une radicelle. L'épiderme et l'écorce, encore simples, ne sont séparés qu'au sommet. L'épistèle est très développée, triple en son milieu. La poche est simple.

Fig. 336. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à sept faisceaux de *Tradescantia discolor*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'épiderme et l'écorce ne sont séparés que dans la cellule médiane de l'arc rhizogène. La poche est simple.

Fig. 337. Radicelle de la même plante, un peu plus âgée. L'épiderme est dédoublé; l'écorce est encore simple. L'épistèle est bien développée. La poche est simple.

PLANCHE XXII.

Fig. 338. Portion d'une section longitudinale de l'extrémité d'une racine latérale de *Pontederia cordata*, passant par l'axe de deux radicelles superposées, au début de leur formation. Dans celle du bas, trois cellules péricycliques se sont allongées radialement en soulevant l'endoderme, qui va former une poche. Dans celle du haut, les deux cellules péricycliques médianes ont pris une cloison tangentielle, séparant le cylindre central.

Fig. 339. Radicelle un peu plus âgée de la même plante. La poche a digéré l'avant-dernière assise corticale.

Fig. 340. Radicelle plus avancée. La poche, toujours simple, a digéré trois assises corticales.

Fig. 341. Radicelle plus âgée de la même plante. L'écorce et l'épiderme ne sont pas séparés; l'épistèle, terminée par deux cellules initiales, s'est dédoublée sur les flancs. La poche est double autour de l'extrémité.

Fig. 342. Portion d'une section longitudinale d'une racine latérale de *Eichhornia crassipes*, passant par l'axe d'une radicelle plus âgée que les précédentes. L'épistèle, terminée par une initiale, est triple en son milieu. La poche a dédoublé ses deux assises et est devenue quadruple. L'écorce de la racine mère est dissoute à un certaine distance de la radicelle.

Fig. 343. Portion d'une section transversale d'une racine latérale du *Pontederia azurea*, passant par l'axe d'une radicelle plus âgée encore que les précédentes et sur le point de sortir de la racine mère. L'écorce et l'épiderme ne sont toujours pas séparés. L'épistèle, terminée par deux initiales dont la gauche vient de détacher un segment, s'est divisée en trois plus bas. La poche est quadruple et n'a plus à digérer que l'assise pilifère.

Fig. 344. Portion d'une section transversale de la racine terminale à cinq faisceaux de l'*Asphodelus fistulosus*, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée. L'épiderme de la radicelle a six assises au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales, en a huit à la base. L'épistèle est relativement peu développée. Les grandes cellules primitives du péricycle se distinguent encore nettement. On voit que c'est la médiane de droite qui, rejetant celle de gauche, a produit les initiales des trois régions. La poche, simple sur les flancs, est double à l'extrémité.

Fig. 345. Portion d'une section transversale d'une racine latérale de *Dianella tasmaniana*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. La cloison séparatrice du cylindre central dépasse trois faisceaux ligneux; celle qui sépare l'écorce et l'épiderme n'intéresse que les quatre cellules médianes. Les autres cellules forment une épistèle très développée.

Fig. 346. Portion d'une section transversale d'une racine latérale de *Lilium candidum*, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, est triple à la base. L'épistèle est très développée. Les cellules péricycliques primitives se recon-

naissent encore bien. C'est la médiane de droite qui a produit les initiales des trois régions. La poche est simple tout autour.

Fig. 347. Section longitudinale de l'extrémité d'une radicelle d'*Amaryllis vittata*, sur le point de sortir de la racine mère. L'épiderme a treize assises au sommet; son bord est détaché de l'épistèle et libre à gauche. L'écorce, terminée par une initiale, a treize assises à la base. L'épistèle est très développée. La poche, digérée sur les flancs et entraînée en bonnet, est double au sommet.

Fig. 348. Portion d'une section transversale d'une racine latérale de *Testudinaria elephantipes*, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée. L'épiderme a six assises au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, a huit assises à la base; son assise externe accroît fortement ses cellules dans le sens radial. La poche, détachée en bonnet, est simple. L'assise sus-endodermique de la racine mère commence à s'épaissir en U (1).

Fig. 349. Portion d'une section longitudinale axile de la racine terminale à cinq faisceaux du *Sisyrinchium chilense*, passant par l'axe d'une radicelle au début de sa formation. La séparation de l'épiderme et de l'écorce ne se fait que dans la cellule médiane de l'arc rhizogène.

Fig. 350. Une radicelle plus âgée de la même plante, en coupe longitudinale axile. L'épiderme est encore simple. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est double à la base. L'épistèle est très développée et triple en son milieu. La poche, simple et continue, a digéré cinq assises corticales.

Fig. 351. Section longitudinale axile de l'extrémité de la racine terminale de la même plante, montrant la portion adhérente de l'épiderme composé. L'épiderme, l'écorce et le cylindre central ont chacun une initiale aplatie.

Fig. 352. Portion d'une section transversale de la racine terminale à quatorze faisceaux du *Moræa irioides*, passant par l'axe d'une radicelle assez avancée. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce, terminée par deux initiales, est triple latéralement. L'épistèle, très développée, a cinq ou six épaisseurs en son milieu. La poche, double autour de l'extrémité, est en voie de résorption sur les flancs.

Fig. 353. Section longitudinale axile du sommet d'une radicelle plus âgée de la même plante, sur le point de sortir. L'épiderme a quatre assises. L'écorce en a cinq à la base. La poche est double au sommet.

Fig. 354. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à quinze faisceaux de l'*Iris germanica*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'épiderme est encore simple. L'écorce est simple à droite, double à gauche. L'épistèle est très développée. Des quatre cellules primitives du péricycle, c'est la médiane

(1) Par suite d'une inattention du graveur, qui n'a pu être corrigée, une erreur s'est glissée dans cette figure. L'assise des cellules épaissies en U ne doit pas avoir de plissements; ceux-ci sont à reporter à l'assise des cellules à parois minces sous-jacentes, qui est l'endoderme. Entre celui-ci et les vaisseaux, doit se trouver une autre assise de cellules à parois minces, qui est le péricycle. Formée par l'endoderme, la poche est incorporée à l'épistèle dans son anneau basilaire, qui devrait, en conséquence, être teinté·

de droite qui a seule produit les initiales des trois régions. La poche est double au sommet.

Fig. 355. Radicelle de la même plante, plus âgée. L'épiderme est double. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est triple à la base. L'épistèle est bien développée. C'est encore la cellule médiane de droite qui a produit les trois initiales. La poche est résorbée sur les flancs et entraînée en bonnet double au sommet.

Fig. 356. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à huit faisceaux de l'*Anigozanthus flavidus*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'épiderme et l'écorce, simples tous deux, ne sont séparés que dans la cellule médiane. L'épistèle est bien développée. La poche est simple tout autour.

PLANCHE XXIII.

Fig. 357. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à vingt-quatre faisceaux de *Vriesia*, passant par l'axe d'une radicelle qui s'étend sur trois faisceaux ligneux. L'épiderme, séparé seulement au sommet, est quadruple au milieu. L'écorce, terminée par une initiale, est quintuple latéralement. L'épistèle, très développée, couvre tout le flanc. La poche, simple latéralement, est double au sommet.

Fig. 358. Portion d'une section transversale de la racine terminale quaternaire du *Musa Ensete*, passant par l'axe d'une radicelle au début de sa formation. Les trois régions sont séparées. La poche est simple.

Fig. 359. Radicelle plus âgée de la même plante. L'épiderme est quadruple. L'écorce, terminée par une initiale et un segment entier, est quadruple à la base. L'épistèle est assez peu développée et très grêle à la base. La poche, incorporée autour de la partie grêle de l'épistèle, est digérée plus haut et entraînée en forme de bonnet, dédoublé au sommet.

Fig. 360. Portion de la section transversale d'une racine latérale à neuf faisceaux de *Costus villosus*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'épiderme et l'écorce, simples tous deux, ne sont séparés que dans la cellule médiane de l'arc rhizogène; les autres forment l'épistèle. La poche est simple.

Fig. 361. Radicelle plus âgée de la même plante. L'épiderme est triple. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est quadruple à la base. L'épistèle est très développée. La poche est simple et encore continue.

Fig. 362. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à seize faisceaux de l'*Hedychium sulfureum*, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée que les précédentes. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est quadruple à la base. L'épistèle est très développée et a commencé à digérer la poche sur les flancs. Celle-ci est double au sommet.

Fig. 363. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à quatorze faisceaux d'*Amomum granum-paradisi*, passant par une radicelle au même

état que la précédente. L'épiderme est triple. L'écorce, terminée par deux initiales, est quadruple à la base, où elle se prolonge dans une épistèle bien développée. La poche est double dans toute son étendue.

Fig. 364. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à quinze faisceaux de *Canna indica*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Séparation du cylindre central.

Fig. 365. Radicelle un peu plus avancée de la même plante. Séparation de l'épiderme et de l'écorce dans la cellule médiane seulement, les autres formant l'épistèle.

Fig. 366. Radicelle du *Canna Annei*, plus âgée que la précédente. L'épiderme et l'écorce sont encore simples, mais l'épistèle s'est dédoublée dans toute la hauteur. La poche est toujours simple.

Fig. 367. Radicelle plus âgée de *Canna indica*. L'épiderme est double au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, est quadruple à la base. L'épistèle est quintuple dans sa région supérieure, où elle a dissocié la poche, à droite; à la base elle est restée double.

Fig. 368. Radicelle plus âgée encore de *Canna Annei*. L'épiderme est triple au sommet et a été repoussé dans la poche. L'écorce, terminée par deux initiales, est quintuple à la base. La poche est toujours simple, mais va bientôt se dissocier au niveau de l'épiderme.

Fig. 369. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à onze faisceaux de l'*Oncidium sphacelatum*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. L'épiderme et l'écorce ne sont séparés que dans les quatre cellules médianes de l'arc rhizogène. L'épiderme est sextuple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, est triple ou quadruple latéralement. L'épistèle est très développée en hauteur, mais fort mince. C'est la cellule médiane de droite qui a produit les initiales des trois régions. La poche est simple; elle renferme à la base et çà et là dans son étendue des cellules scléreuses *f*.

Fig. 370. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à vingt-deux faisceaux du *Cymbidium aloefolium*, passant par l'axe d'une radicelle. L'écorce de la racine mère a ses parois munies de bandes épaissies *s*, et contient çà et là une fibre *f*. L'épiderme est sextuple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale aplatie, compte huit à dix assises latéralement. L'épistèle est très développée. Les cellules péricycliques primitives se distinguent encore bien et l'on voit que c'est le rang externe qui a tout donné. La poche, simple sur les flancs, est triple au sommet.

Fig. 371. Portion d'une section longitudinale de l'extrémité d'une racine latérale à trois faisceaux de l'*Hydrocharis morsus-ranæ*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. Le cylindre central est séparé. L'endoderme s'est dédoublé vis-à-vis du mamelon, que recouvre une poche quadruple. Dans la lacune à droite, on voit un diaphragme.

Fig. 372. Radicelle plus avancée de la même plante. L'épiderme et l'écorce ne sont pas encore séparés au sommet. L'épistèle, terminée par une initiale, s'est dédoublée sur les flancs. La poche quadruple fait saillie dans la lacune.

Fig. 373. Radicelle de la même plante, un peu plus âgée. L'épiderme et l'écorce

se sont séparés dans les deux cellules terminales; le premier continue, pour ainsi dire, au sommet, l'assise externe de l'épistèle. Même état de la poche.

Fig. 374. Portion d'une section transversale d'une racine ternaire de la même plante, passant par l'axe d'une radicelle plus âgée. L'épiderme est simple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et un segment entier, s'est dédoublée plus bas et se prolonge dans l'épistèle quadruple. La poche dissocie à la base ses deux assises externes, extérieures à l'endoderme.

Fig. 375. Radicelle de la même plante encore plus âgée. L'épiderme est encore et demeure toujours simple. L'écorce, terminée par deux initiales, est triple plus bas. L'épistèle, en s'épaississant un peu au-dessus de sa base, dissocie les deux assises internes de la poche, issues de l'endoderme dédoublé. Désormais, les quatre assises de la poche ont leurs bords libres vers le bas. L'assise externe est disloquée en deux calottes latérales.

Gymnospermes.

Planche XXIV.

Fig. 376. Portion d'une coupe transversale de la racine terminale binaire du *Juniperus virginiana*, passant par l'axe d'une jeune radicelle déviée à gauche. Les quatre cellules primitives de l'arc rhizogène se distinguent encore. L'épiderme est triple au sommet. L'écorce a deux initiales et est double à la base. La poche est simple et a digéré le réseau sus-endodermique et cortical *r*.

Fig. 377. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire de l'*Actinostrobus pyramidalis*, passant par l'axe d'une jeune radicelle déviée à gauche. Les huit cellules primitives de l'arc rhizogène, cinq à gauche, trois à droite du faisceau ligneux, se distinguent nettement. L'épiderme est double; l'écorce a deux initiales et est double en bas. La poche est simple. Le réseau sus-endodermique et cortical *r* est interrompu en face des faisceaux ligneux.

Fig. 378. Portion d'une section transversale d'une racine terminale ternaire de *Cupressus sempervirens*, passant par l'axe d'une jeune radicelle insérée en face d'un faisceau ligneux. Le péricycle est double à cet endroit, et les deux rangs de cellules de l'arc rhizogène se distinguent encore nettement. C'est le rang externe seul qui donne l'épiderme, l'écorce et le sommet du cylindre central. L'épiderme a huit assises au sommet. L'écorce a une initiale accompagnée de chaque côté par cinq ou six cellules indivises; c'est à la base seulement qu'elle prend une ou deux cloisons tangentielles. La poche simple est détachée sur les flancs et entraînée en forme de bonnet. — *r*, réseau sus-endodermique.

Fig. 379. Portion d'une section transversale d'une racine binaire d'*Araucaria excelsa*, passant par l'axe d'une jeune radicelle déviée à droite. Le péricycle a cinq rangs; c'est l'externe seul qui donne les trois régions. L'épiderme est

triple ; l'écorce a une initiale et est double. La poche simple a digéré le réseau sus-endodermique et cortical *r*. — *cs*, canaux sécréteurs libériens.

Fig. 380. Portion d'une section transversale de la racine terminale binaire du *Taxus baccata*, passant par l'axe d'une radicelle déviée à droite. Le péricycle a deux rangs, dont l'externe seul produit les trois régions. L'épiderme a dix assises, dont la plus externe est résinifiée. L'écorce a deux initiales et est triple à la base. L'endoderme de la racine mère est digéré avant le réseau sus-endodermique *r* ; il n'y a pas de poche.

Fig. 381. Portion d'une coupe transversale d'une racine terminale quinaire de *Pinus maritima*, passant par l'axe d'une jeune radicelle insérée en face d'un faisceau ligneux. Le péricycle est triple en dehors du canal sécréteur *cs* ; le rang externe forme une poche digestive triple au sommet ; c'est le second rang qui produit les trois régions. L'épiderme est quadruple ; l'écorce a deux initiales et est double. L'endoderme de la racine mère est digéré tout autour.

Fig. 382. Portion d'une coupe transversale d'une racine terminale ternaire de *Pinus Strobus*, passant par l'axe d'une radicelle ; l'épiderme y est quintuple, et l'écorce encore simple, excepté à la base.

Fig. 383. Portion d'une coupe transversale d'une racine terminale quaternaire de *Pinus Pinea*, passant par l'axe d'une radicelle près de sortir. Le péricycle a cinq assises, dont l'externe produit la poche, la seconde les trois sortes d'initiales, et les trois autres la partie interne du cylindre central. L'épiderme est quintuple au sommet ; l'écorce, pourvue d'une seule grande initiale aplatie, est triple à la base.

Fig. 384. Portion d'une coupe transversale d'une racine terminale ternaire de *Picea excelsa*, passant par l'axe d'une jeune radicelle. Le péricycle est quadruple ; le rang externe produit la poche ; le second donne les initiales des trois régions, les deux autres la base du cylindre central. L'épiderme a six assises au sommet ; l'écorce, pourvue de deux initiales, est double à la base. L'endoderme de la racine mère est résorbé tout autour.

Fig. 385. Portion d'une section longitudinale axile d'une racine binaire de *Podocarpus latifolius*, passant par l'axe d'une radicelle tuberculeuse déjà sortie. L'épiderme a six assises, munies d'épaississements spiralés, à l'exception de la plus externe. L'écorce se réduit à une seule assise, qui est plissée dans toute son étendue. A la base du cylindre central, est un petit paquet de cellules vasculaires pour l'insertion de la radicelle sur le faisceau ligneux. Le péricycle, continu au sommet, prend des cloisons tangentielles pour former le périderme. L'endoderme de la racine mère est digéré tout autour. Son écorce, formée de cellules spiralées, à l'exception de la plus externe, a été digérée directement par l'épiderme de la radicelle.

Fig. 386. Portion d'une section transversale d'une racine binaire de *Zamia Yalisii*, passant par l'axe d'une radicelle déviée à droite. Le péricycle a cinq rangs, dont l'externe seul donne les trois régions ; l'épistèle est très développée. L'épiderme est double seulement au sommet. L'endoderme de la racine mère a produit une poche triple au sommet.

Fig. 387. Coupe transversale d'une portion de la zone corticale interne de la racine du *Cycas circinalis*, montrant les cadres d'épaississement *r* sur deux assises corticales, séparées de l'endoderme par deux assises ordinaires.

Fig. 388. Portion d'une coupe transversale d'une racine binaire d'*Ephedra distachya*, passant par l'axe d'une radicelle déviée à droite. Le péricycle est simple et les cellules primitives se distinguent encore nettement. L'épiderme a cinq assises au sommet ; l'écorce, munie d'une seule initiale, est double sur les flancs. L'endoderme de la racine mère a formé une poche qui compte six assises au sommet.

Cryptogames vasculaires (pl. XXV-XXVII).

Planche XXV.

Fig. 389. Section transversale d'une racine latérale de *Pteris cretica*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une jeune radicelle. La cellule mère a déjà découpé deux segments épidermiques, le premier dédoublé, le second entier. Au-dessus des cellules basilaires, elle n'a formé encore qu'une série de segments triangulaires, qui ont pris déjà la cloison médio-corticale ; les cellules basilaires ont pris d'abord cette cloison, puis la cloison séparatrice du cylindre central ; elles ont ensuite découpé dans la cellule externe l'exoderme, dans la moyenne l'endoderme, dans l'interne le péricycle. La poche sus-endodermique commence à dissocier et à dissoudre ses cellules au sommet. — *pd*, pédicule discoïde formé par le péricycle.

Fig. 390. Section transversale de la racine latérale de la même plante, comprenant le cylindre central avec la majeure partie de l'écorce, et passant par l'axe d'une radicelle sur le point de sortir. La poche sus-endodermique a disparu. L'épiderme se compose de deux segments dédoublés, dont l'externe a séparé ses deux moitiés, et d'un segment encore simple. La zone corticale interne n'a que deux assises, et l'endoderme se raccorde avec celui de la racine mère ; la zone corticale externe en a quatre dans sa région moyenne la plus épaisse. — *pd*, pédicule.

Fig. 391. Section longitudinale axile de l'extrémité d'une racine latérale de *Pteris Blumeana*, comprenant cinq segments triangulaires à gauche, six à droite, et cinq segments épidermiques dont l'interne est encore simple. La zone corticale interne est double et l'endoderme est séparé très près du sommet ; la zone externe compte jusqu'à neuf assises à droite.

Fig. 392. Deux sections transversales de racine binaire de Fougères, montrant : en *a*, la disposition isostique ordinaire des radicelles ; en *b*, leur disposition diplostique accidentelle.

Fig. 393. Section longitudinale axile de l'extrémité d'une racine latérale de *Asplenium celtidifolium*, comprenant cinq segments triangulaires de chaque côté et cinq segments épidermiques, dont l'interne est encore simple, tandis que l'externe a exfolié sa moitié extérieure. La zone corticale externe

est double ; la zone interne a huit assises à gauche, séparées en direction assez régulièrement centrifuge, l'endoderme étant découpé le premier très près du sommet.

Fig. 394. Section transversale d'une racine latérale d'*Adiantum hispidulum*, comprenant tout le cylindre central ainsi que toute l'écorce en haut, et passant par l'axe d'une jeune radicelle encore enveloppée dans sa poche sus-endodermique. La cellule mère, après la séparation des trois cellules basilaires, qui constituent la base du cylindre central et l'épistèle, a formé un segment épidermique déjà dédoublé et une série de segments triangulaires ayant déjà pris la cloison médio-corticale. Les cellules des trois assises corticales extérieures à la poche sont en voie de résorption.

Fig. 395. Portion d'une section transversale d'une racine latérale de la même plante, passant par l'axe d'une radicelle plus âgée. La poche sus-endodermique est résorbée autour du sommet. Au-dessus des cellules basilaires, la cellule mère a pris deux séries de segments triangulaires et trois segments épidermiques, dont l'externe seul est dédoublé. Dans l'écorce, la zone interne est et demeure double ; la zone externe s'épaissit en direction centripète. — *pd*, pédicule discoïde.

Fig. 396. Section longitudinale axile de l'extrémité d'une racine latérale de *Trichomanes radicans*, comprenant cinq séries de segments triangulaires et cinq segments épidermiques demeurés simples. La zone corticale externe est et demeure double ; l'interne, au contraire, une fois l'endoderme séparé très près du sommet, s'épaissit par des cloisonnements tangentiels centrifuges.

PLANCHE XXVI.

Fig. 397. Section transversale d'une racine terminale de *Lygodium scandens*, comprenant tout le cylindre central, avec la majeure partie de l'écorce en haut, et passant par l'axe d'une radicelle sur le point de sortir, faiblement déviée à gauche. La poche sus-endodermique persiste jusqu'à la sortie. La cellule mère a découpé deux segments épidermiques dédoublés et deux séries de segments triangulaires au-dessus des cellules basilaires. La zone corticale interne est double et a raccordé son endoderme à celui de la racine mère ; la zone externe s'épaissit au contraire par des cloisonnements centripètes.

Fig. 398. Portion d'une section transversale d'une racine latérale binaire de *Alsophila procera*, passant par l'axe d'une radicelle, fortement déviée vers la droite par suite d'une croissance prédominante de sa moitié gauche. La poche digestive est triple. La cellule mère a produit, au-dessus des cellules basilaires, une seule série de segments internes et deux segments épidermiques dont l'interne est encore simple.

Fig. 399. Portion d'une section transversale d'une racine latérale ternaire de *Todea barbara*, passant par l'axe d'une radicelle à son premier état, fortement déviée à gauche. La cellule mère n'a encore découpé que la série des cellules basilaires. La poche digestive est quadruple.

Fig. 400. Portion d'une section transversale d'une racine latérale de la même

plante, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée, fortement déviée vers la droite. La poche digestive est épaisse ; le péricycle se développe en pédicule *pd* sous la cellule mère, et les cellules endodermiques voisines s'accroissent et se cloisonnent sur les flancs du pédicule, jouant ainsi le rôle de cellules annexes. La cellule mère n'a découpé encore que ses cellules basilaires, formant le cylindre central et l'épistèle, avec un segment épidermique dédoublé dans toute son étendue.

Fig. 401. Section longitudinale axile de l'extrémité d'une racine latérale de *Todea barbara*. Le cylindre central se sépare en premier lieu, puis la zone corticale externe, qui demeure double, tandis que la zone interne s'épaissit beaucoup, après la séparation de l'endoderme.

Fig. 402. Portion d'une section transversale d'une racine latérale binaire de *Davallia trichostachya*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état. La poche sus-endodermique est encore complète. La cellule mère n'a séparé que ses cellules basilaires, où le cylindre central et l'épistèle sont déjà distincts, et un segment épidermique encore entier.

Fig. 403. Portion d'une section transversale d'une racine latérale binaire de *Acrostichum callæfolium*, passant par l'axe d'une radicelle sur le point de sortir. La poche sus-endodermique est double et persistante. La cellule mère a formé, au-dessus des cellules basilaires, une série de segments ; elle a produit deux segments épidermiques, dont l'externe est seul dédoublé.

Fig. 404. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à quatorze faisceaux de l'*Angiopteris Durvilleana*, passant par l'axe d'une radicelle au premier état, nettement déviée à gauche. La cellule mère a seulement commencé la séparation des cellules basilaires. — *pd*, pédicule.

Fig. 405. Portion d'une section transversale de la même racine, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée, située exactement en face d'un faisceau ligneux. La poche digestive est épaisse ; le péricycle a allongé radialement ses cellules au-dessous de la radicelle, pour former un pédicule *pd*. La cellule mère a séparé, en dedans ses cellules basilaires et une série de segments internes, en dehors deux segments épidermiques dont l'externe est dédoublé, l'interne encore simple.

Fig. 406. Portion d'une section transversale d'une racine latérale à huit faisceaux de *Marattia lævis*, passant par l'axe d'une radicelle sur le point de sortir. La poche digestive, simple sur les flancs, est triple au sommet. Le pédicule péricyclique *pd* est très développé et recouvert sur les flancs par plusieurs cellules endodermiques *a* accrues et cloisonnées. Vers le bas et latéralement, la cellule mère a découpé, au-dessus de ses cellules basilaires, deux séries de segments pour l'écorce et le cylindre central. Vers le haut, elle a produit trois segments épidermiques ; l'externe, dédoublé deux fois, est quadruple ; le second n'est que double ; l'interne est encore simple.

Fig. 407. Portion d'une section longitudinale axile du sommet d'une racine latérale de *Marattia lævis*, comprenant trois séries de segments corticostéliques et trois épidermes dont l'externe est quadruple dans toute sa largeur, le second double sur les bords, quadruple au milieu ; l'interne encore

entier. On voit comment les segments épidermiques s'attachent à l'écorce par des crans profonds, qui vont s'épaississant à mesure que le segment s'épaissit, de manière que la zone corticale externe correspondante se cloisonne à mesure. L'écorce externe est donc épaisse ici; mais la zone corticale interne, une fois l'endoderme séparé, s'épaissit aussi.

Fig. 408. Portion de la section transversale d'une racine latérale quaternaire de *Botrychium daucifolium*, comprenant tout le cylindre central et une grande partie de l'écorce en haut, et passant par l'axe d'une jeune radicelle faiblement déviée à gauche. La poche digestive épaissie se résorbe au sommet. Le péricycle forme un large pédicule *pd*. Sous le mamelon, la cellule mère *m* est accompagnée de chaque côté par deux cellules annexes *a*, accrues et cloisonnées. Elle a séparé vers l'intérieur la série des cellules basilaires et une série de segments cortico-stéliques; vers l'extérieur elle a produit deux segments épidermiques, l'externe dédoublé, l'interne encore simple.

Planche XXVII.

Fig. 409. Section transversale d'une racine latérale binaire de *Marsilia Drummondii*, contenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une jeune radicelle. Au-dessus des cellules basilaires, la cellule mère a découpé trois segments épidermiques, qui demeurent simples et deux séries de segments cortico-stéliques. La première cloison tangentielle de ceux-ci sépare la zone corticale externe, qui se dédouble bien et ne se divise pas davantage. La seconde cloison sépare le cylindre central et découpe bientôt en dehors l'endoderme, en dedans le péricycle. Il n'y a pas de poche digestive.

Fig. 410. Section longitudinale axile de l'extrémité d'une racine latérale de la même plante, comprenant six segments cortico-stéliques à droite, sept à gauche et neuf segments épidermiques. La marche du cloisonnement tangentiel des premiers est clairement indiquée; les derniers demeurent simples.

Fig. 411. Portion d'une section longitudinale axile d'une racine latérale de la même plante, un peu plus loin du sommet; elle passe par un faisceau ligneux et comprend deux segments cortico-stéliques, avec la moitié supérieure d'un troisième. On voit que chaque segment se divise transversalement en quatre. Après quoi, la cellule endodermique de chaque quart subit une nouvelle bipartition; des deux cellules ainsi formées, celle qui est tournée vers le sommet grandit davantage et devient cellule rhizogène *m*, tandis que l'autre demeure courte et plate. En face de chaque faisceau ligneux, il se produit donc quatre cellules rhizogènes par segment corticostélique.

Fig. 412. Portion d'une section longitudinale tangentielle d'une racine latérale, dirigée à travers la zone corticale interne perpendiculairement à la lame vasculaire et passant par une très jeune radicelle. La cellule mère a découpé ses trois cellules basilaires, une vers la base, les deux autres vers

le sommet de la racine mère, et les a subdivisées chacune en deux sextants par une cloison presque radiale; les sextants ont déjà pris leurs deux premières cloisons tangentielles.

Fig. 413. Portion d'une section transversale d'une racine latérale ternaire d'*Equisetum variegatum*, comprenant tout le cylindre central et passant par l'axe d'une jeune radicelle déviée à gauche. La moitié externe de l'endoderme dédoublé, moitié qui porte les plissements, forme une poche digestive, double autour de l'extrémité. Au-dessus des cellules basilaires fortement allongées et produisant une épistèle très développée, la cellule mère n'a séparé qu'un segment épidermique et une série de segments cortico-stéliques. Le premier est encore simple; les seconds n'ont pris encore que la cloison séparatrice du cylindre central. Les cellules endodermiques voisines de la cellule rhizogène se sont cloisonnées et ont différencié certains de leurs éléments nouveaux en cellules scléreuses de soutien *s*, appuyées contre les tubes criblés.

Fig. 414. Portion d'une section transversale de la même racine, comprenant le cylindre central et toute l'épaisseur de l'écorce, passant par l'axe d'une radicelle plus avancée, sur le point de sortir et déviée à droite. La poche digestive est double sur le flanc gauche. La cellule mère a découpé un second segment épidermique; le premier est encore simple. — *s*, cellules scléreuses de soutien.

Fig. 415. Portion d'une section transversale d'une racine latérale ternaire d'*Equisetum trachyodon*, comprenant le cylindre central et toute l'épaisseur de l'écorce, passant par l'axe d'une radicelle plus âgée, venant de sortir et déviée à gauche. La poche digestive, double autour du sommet, est encore complète. Au-dessus de sa base très développée, grêle en bas, large en haut, la radicelle a deux segments cortico-stéliques et trois segments épidermiques; le premier de ceux-ci est dédoublé et sa moitié interne s'est divisée de nouveau autour du sommet; le second n'est que dédoublé; le troisième est encore simple. — *s*, cellules scléreuses de soutien.

Fig. 416. Section longitudinale axile de l'extrémité d'une racine latérale d'*Equisetum variegatum*, comprenant cinq segments cortico-stéliques et autant de segments épidermiques. Dans les premiers, une fois le cylindre central séparé, l'écorce découpe d'abord l'exoderme, puis l'endoderme, ensuite les autres assises corticales dans l'ordre centrifuge. Un peu plus tard seulement, ici dans le cinquième segment, l'endoderme se dédouble. Le plus externe des segments épidermiques, déjà en partie exfolié, est encore quadruple au sommet; le suivant est sextuple; les deux suivants quadruples; le dernier formé est seulement dédoublé.

Fig. 417. Portion d'une section longitudinale axile de l'extrémité d'une racine latérale du *Selaginella inæqualifolia*, passant par le plan de dichotomie. La moitié corticale de l'avant-dernier segment de droite est devenue cellule rhizogène *m'*; elle a pris trois cloisons obliques qui renferment une cellule mère triangulaire. Le développement prédominant de cet avant-dernier segment a rejeté à gauche la cellule mère de la racine *m*, de telle façon que les deux cellules mères semblent équivalentes.

Fig. 418. Portion d'une section longitudinale axile suivant le plan de dichotomie d'une racine latérale de la même plante, passant par une radicelle un peu plus avancée. Le sommet de la racine mère *m* est dévié à gauche; la radicelle est située à droite. La cellule mère de la radicelle *m'* a découpé son premier segment épidermique; au-dessous d'elle, pendant que l'écorce s'épaississait tout autour, le péricycle s'est développé en un pédicule *pd* semblable à celui des Marattiacées.

DEUXIÈME PARTIE

ORIGINE DES RACINES LATÉRALES

Les figures ont été toutes dessinées à la chambre claire, à un grossissement variant entre 250 et 350 diamètres. Avant la gravure, elles ont été réduites de moitié par la photographie, à l'exception de celles des planches XXXVII à XL. Elles sont donc grossies réellement de 125 à 175 fois. Les lettres sont les mêmes partout, et les mêmes aussi pour la racine et la tige mère que pour la radicelle et la racine mère dans la première partie.

Dicotylédones (pl. XXVIII-XXXI).

Planche XXVIII.

Fig. 419. Portion d'une section transversale de la tige hypocotylée binaire de l'*Heliophila amplexicaulis*, passant par l'axe d'une jeune racine fortement déviée à droite. La tige a déjà du liber et du bois secondaires. La racine a un épiderme triple au sommet, une écorce double à la base, et une poche digestive simple.

Fig. 420. Portion d'une section transversale de la tige du *Montia fontana*, passant par l'axe d'une racine au premier âge. Les trois régions et l'épistèle y sont distinctes. L'endoderme s'est dédoublé en face du mamelon et commence à se ramollir.

Fig. 421. État plus avancé de la même racine. L'épiderme y est encore simple; l'épistèle y est très développée. L'endoderme est complètement résorbé.

Fig. 422. État encore plus avancé de la même racine. L'épiderme y est triple au sommet. La zone corticale interne est digérée à son tour.

Fig. 423. Portion d'une section transversale de la tige hypocotylée binaire du *Scleropus amarantoides*, passant par l'axe d'une jeune racine déviée à gauche. Les trois cellules péricycliques agrandies qui ont produit la racine sont encore visibles; les deux latérales se sont de bonne heure dédoublées radialement. C'est la médiane qui a donné les initiales des trois régions. La poche digestive est simple.

Fig. 424. Portion d'une section transversale de la tige de l'*Urtica dioica*, passant par l'axe d'une racine au premier état. Quatre cellules péricycliques

la produisent; les deux médianes seules séparent l'écorce et l'épiderme; les latérales constituent l'épistèle. L'endoderme forme une poche digestive.

Fig. 425. Racine de la même plante à un état plus avancé. L'épiderme est quintuple au sommet; l'écorce, terminée par une initiale, a cinq ou six assises à la base. L'épistèle est bien développée. La poche digestive est simple.

Fig. 426. Portion d'une section transversale de la tige hypocotylée binaire du *Cannabis sativa*, passant par l'axe d'une racine assez avancée, faiblement déviée à gauche. Le péricycle a trois rangs en face du faisceau ligneux; l'externe donne l'épiderme, le moyen à la fois l'écorce et le cylindre central, l'interne la base du cylindre. Il n'y a pas d'épistèle. L'épiderme est quintuple au sommet; l'écorce, terminée par une initiale, est triple à la base. La poche digestive est dédoublée autour de l'extrémité.

Fig. 427. Portion d'une section transversale de la tige du *Saururus Loureiri*, passant par l'axe d'une jeune racine. L'épiderme vient seulement de se dédoubler au sommet et l'écorce à la base. La poche endodermique est simple.

Fig. 428. Portion d'une section transversale de la tige hypocotylée quaternaire du *Polygonum orientale*, passant par l'axe d'une racine au premier état. Six cellules péricycliques la constituent; les quatre médianes seules séparent l'écorce et l'épiderme; les deux latérales forment l'épistèle. L'endoderme donne une poche simple.

Fig. 429. Portion d'une section transversale de la tige du *Polygonum capitatum*, passant par l'axe d'une racine au premier état. Le rang péricyclique externe a divisé d'abord six de ses cellules agrandies, puis de nouveau les quatre médianes, pour séparer les trois régions et l'épistèle. Les cellules sous-jacentes grandissent aussi et se cloisonnent. La poche endodermique est déjà double au milieu.

Fig. 430. État plus avancé d'une racine de la même plante. L'épiderme est triple au sommet; l'écorce est triple à la base. Les cellules péricycliques rhizogènes se distinguent encore bien.

Fig. 431. État encore plus avancé. L'épiderme est quintuple au sommet; l'écorce est aussi quintuple à la base, où s'opère le raccord des endodermes par les cellules triplissées. On distingue encore au sommet les grandes cellules péricycliques primitives. L'écorce a une initiale, accompagnée de chaque côté par deux segments indivis. A la base du cylindre central, commence à s'établir le raccord vasculaire.

Fig. 432. Portion d'une section transversale d'une tige de *Nymphæa rubra*, passant par l'axe d'une jeune racine. L'épiderme et l'écorce ne se séparent qu'au sommet, dans les deux dernières cellules; l'épistèle est très developpée. La poche endodermique est simple.

Fig. 433. État plus avancé d'une racine de la même plante. L'épiderme est dédoublé au milieu; l'écorce est quadruple à la base. L'épistèle, très grêle à la base, se dilate dans sa région supérieure et dissocie à cet endroit la poche, dont la région inférieure est incorporée, tandis que la supérieure est emportée en forme de bonnet.

Fig. 434. Section longitudinale axile de l'extrémité d'une racine latérale de *Nymphæa rosea*. L'épiderme, très épais au sommet, se détache tout entier plus bas. L'écorce, terminée par une surface plane, et comme tronquée, a deux initiales entre deux segments indivis, à partir desquels le cloisonnement tangentiel s'opère très rapidement, de manière à lui donner bientôt toute son épaisseur. On voit que l'exoderme se sépare le premier, puis la seconde assise corticale qui se divise ensuite deux fois vers l'extérieur, puis le reste de l'écorce en ordre centripète et en dernier lieu l'endoderme. On voit aussi que les lacunes aérifères de l'écorce se forment très près du sommet. Le cylindre central est également tronqué. Le long des extrémités planes en contact, les trois régions enchevêtrent leurs initiales et leurs premiers segments, de sorte qu'il faut de l'attention pour les distinguer.

Planche XXIX.

Fig. 435. Portion d'une coupe transversale de la tige du *Nelumbo nucifera*, passant par l'axe d'une jeune racine. Le cylindre central est séparé, mais l'épiderme et l'écorce ne le sont pas encore. L'endoderme forme une poche simple.

Fig. 436. État plus avancé d'une racine de la même plante. L'épiderme et l'écorce se sont séparés, laissant en bas une courte épistèle ; l'un et l'autre sont encore simples.

Fig. 437. Portion d'une coupe transversale de la tige du *Callitriche verna*, passant par l'axe d'une jeune racine. L'épiderme est double ; l'écorce a une initiale et compte cinq assises à la base, où se fait le raccord des endodermes. La poche digestive simple commence à se résorber en bas, à droite.

Fig. 438. Portion d'une section transversale de la tige du *Viola canadensis*, passant par l'axe d'une racine au premier état. Quatre cellules de parenchyme libérien se sont agrandies radialement et ont pris une cloison tangentielle, séparatrice du cylindre central. C'est l'assise sous-jacente qui devient génératrice du bois et du liber secondaires.

Fig. 439. Racine de la même plante à un état plus avancé. L'arc rhizogène prend huit cellules libériennes ; l'épiderme et l'écorce ne se séparent que dans les quatre médianes ; les autres forment l'épistèle. L'endoderme commence à se ramollir et à se résorber ; le péricycle et la zone de liber extérieure à l'arc rhizogène forment une poche.

Fig. 440. Racine de la même plante à un âge encore plus avancé. Les grandes cellules libériennes primitives se voient encore très bien. L'épiderme est sextuple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale et deux segments indivis, est quintuple à la base. L'endoderme de la tige est résorbé, ainsi que son écorce interne. Le péricycle et la zone libérienne externe forment une poche digestive épaisse.

Fig. 441. Portion d'une section transversale de la tige hypocotylée de l'*Amorpha fragrans*, passant par l'axe d'une racine assez avancée, située en face d'un rayon. Les trois régions ont chacune une seule initiale ; l'épiderme est

quadruple au sommet; l'écorce est quadruple à la base, où elle surmonte une épistèle très développée. La poche digestive est simple.

Fig. 442. Portion d'une section transversale de la tige du *Lotus corniculatus*, comprenant le rayon médullaire où va naître une racine. L'assise externe du rayon et l'assise sous-jacente ont déjà agrandi leurs cellules.

Fig. 443. Portion d'une section transversale de la tige de la même plante, passant par l'axe d'une racine au premier état. Quatre cellules péricycliques la constituent; toutes ont séparé le cylindre central; les deux médianes seulement ont formé l'écorce et l'épiderme. La seconde assise s'accroît aussi; c'est dans la troisième que s'établit l'arc générateur du liber et du bois secondaires. L'endoderme superposé commence à cloisonner ses cellules pour former la poche.

Fig. 444. Racine de la même plante à un état plus avancé. L'épiderme est encore simple; l'écorce est dédoublée à la base; l'épistèle est très développée. Les grandes cellules rhizogènes se voient encore bien; les deux assises sous-jacentes s'accroissent et se cloisonnent pour former la base du cylindre central. La poche digestive, formée par l'endoderme et l'avant-dernière assise corticale, a cinq ou six assises d'épaisseur.

Fig. 445. État plus avancé d'une racine de la même plante. L'épiderme est triple. L'écorce, terminée par une initiale entre deux segments indivis, compte une dizaine d'assises à la base. La poche a sept ou huit assises au sommet. A la base commence à se faire le raccord vasculaire.

Planche XXX.

Fig. 446. Portion d'une section transversale de la tige de l'*Alchemilla vulgaris*, passant par l'axe d'une jeune racine dont les trois régions viennent de se séparer. Les grandes cellules primitives de l'assise péricyclique externe se voient encore très bien. L'épiderme est double dans toute son étendue; l'écorce a une initiale entre deux paires de segments indivis et est double à la base. A droite, le périderme commence à se développer dans l'assise externe du péricycle. La zone corticale interne forme une poche digestive épaisse.

Fig. 447. Portion d'une section transversale de la tige du *Fragaria elatior*, passant par l'axe d'une jeune racine formée après la première apparition du périderme. Celui-ci est visible et déjà assez épais à droite et à gauche. La racine en a traversé, en les digérant, les assises externes; elle a résorbé aussi l'endoderme; il n'y a pas de poche. Par contre, l'épiderme est extrêmement épais. L'écorce, terminée par une initiale, est aussi très épaisse à la base. Les grandes cellules péricycliques primitives se voient encore très bien. Celles de l'assise externe ont produit les initiales des trois régions.

Fig. 448. Portion d'une section transversale de la tige du *Geum urbanum*, passant par l'axe d'une jeune racine, plus tardive encore. Elle s'est constituée après la formation du périderme, à l'aide des cellules de la seconde assise péricyclique. Le périderme l'enveloppe d'une poche qui dissocie

l'endoderme. L'épiderme de la racine est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, a cinq ou six assises à la base et l'épistèle est très développée.

Fig. 449. Portion d'une section transversale de la tige du *Circæa lutetiana*, montrant la région de l'anneau libéroligneux où se prépare la formation d'une racine. Les cellules du parenchyme libérien situées au-dessous du péricycle s'agrandissent.

Fig. 450. Racine de la même plante à un état plus avancé. Les cellules externes du parenchyme libérien ont séparé les trois régions et l'épistèle. L'épiderme est encore simple; l'écorce est dédoublée à la base. Le péricycle forme une poche, qui digère l'endoderme et ensuite le reste de l'écorce.

Fig. 451. Racine de la même plante, encore plus âgée. La poche péricyclique est résorbée autour de la base. L'épiderme est double; l'écorce compte quatre assises à la base.

Fig. 452. Portion d'une section transversale de la tige du *Trapa natans*, passant par l'axe d'une jeune racine. L'épiderme est encore simple. L'écorce a deux initiales et est double sur les flancs. La poche endodermique est simple.

Fig. 453. Portion d'une section transversale de la tige du *Myriophyllum verticillatum*, passant par l'axe d'une racine au premier état. L'écorce et l'épiderme ne sont séparés que dans les deux cellules médianes de l'arc rhizogène.

Fig. 454. Racine de la même plante à un état un peu plus avancé et arrêtée dans cet état. L'épiderme est simple. L'écorce est simple aussi et a pris les plissements de l'endoderme. La poche digestive est simple. Entre l'endoderme de la tige et celui de la racine, raccordés ensemble par les cellules triplissées, se trouve compris l'épiderme de la racine.

Fig. 455. Portion d'une section transversale de la tige de l'*Hydrocotyle vulgaris*, passant par l'axe d'une jeune racine. La poche, plus tard incorporée à la base autour de l'épistèle, est simple et encore continue. L'épiderme est quintuple au sommet, et l'écorce est triple ou quadruple à la base.

Fig. 456. Section transversale de la tige de l'*Auricula ursi*, passant par un bourgeon *b* (en bas) et montrant la disposition des stèles *c*, avec l'origine de deux racines au point de fusion de deux stèles : une à gauche en haut au premier état *r*; une autre à droite en haut à un état beaucoup plus avancé *r'*.

Fig. 457. Portion de cette section transversale passant par l'axe d'une jeune racine à sommet encore concave. L'épiderme est quadruple au sommet; l'écorce en forme de lentille biconcave est quadruple à la base. La poche digestive a quatre assises d'épaisseur; elle a été digérée latéralement par l'épaississement transversal de l'écorce et son extrémité libre forme une sorte de couvercle dans la concavité du sommet de la racine.

Fig. 458. Portion d'une section transversale de la tige du *Polemonium cæruleum*, passant par l'axe d'une racine au premier état. Les grandes cellules péricycliques rhizogènes se voient encore bien. L'épiderme est simple, l'écorce double à la base. La poche endodermique est simple.

Fig. 459. Portion d'une section transversale de la tige du *Menyanthes trifoliata*, passant par l'axe d'une jeune racine. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, dont la zone externe est centrifuge, est sextuple à la base, où se fait le raccord des endodermes. La poche digestive est simple.

Planche XXXI.

Fig. 460. Portion d'une section transversale de la tige de l'*Apocynum hypericifolium*, passant par l'axe d'une jeune racine. L'épiderme a huit assises au sommet; l'écorce en a trois ou quatre à la base. L'endoderme forme une poche simple à la base, quadruple au sommet.

Fig. 461. Portion d'une section transversale de la tige du *Linaria cymbalaria*, passant par l'axe d'une jeune racine. Les trois cellules péricycliques qui l'ont constituée sont encore bien apparentes. L'épiderme et l'écorce sont simples. L'endoderme forme une poche simple.

Fig. 462. Racine de la même plante à un état plus avancé. L'épiderme et l'écorce sont doubles. La poche digestive est aussi çà et là dédoublée.

Fig. 463. Portion d'une coupe transversale de la tige du *Gratiola officinalis*, passant par l'axe d'une jeune racine. L'épiderme est double au sommet; l'écorce est double à la base. La poche endodermique est simple.

Fig. 464. Portion d'une coupe transversale de la tige du *Littorella lacustris*, passant par l'axe d'une jeune racine. L'épiderme et l'écorce sont encore simples. L'endoderme forme une poche simple.

Fig. 465. Racine de la même plante à un état plus avancé. L'épiderme est quadruple au sommet, l'écorce quintuple à la base, où se fait à travers l'épistèle le raccord des endodermes. La poche digestive est simple.

Fig. 466. Portion d'une coupe transversale de la tige hypocotylée du *Monopsis debilis*, passant par l'axe d'une jeune racine, située en face d'un rayon. L'épiderme est quadruple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale, est quadruple à la base, où les endodermes se raccordent à travers l'épistèle. La poche est simple.

Fig. 467. Portion de la coupe transversale de la tige du *Trichosanthes cucumerina*, passant par l'axe d'une jeune racine, insérée sur le flanc droit d'un faisceau libéroligneux. Les cellules péricycliques primitives se voient encore nettement. C'est le rang externe qui donne à la racine ses trois sortes d'initiales. La poche est simple et n'est pas encore repoussée. — *f*, fibres.

Fig. 468. Portion de cette même coupe transversale passant par l'axe d'une racine plus avancée, sur le point de sortir, et insérée sur le flanc gauche d'un faisceau libéroligneux. L'épiderme est sextuple au sommet. L'écorce, terminée par une initiale entre deux segments indivis, est sextuple à la base. La poche, simple sur les côtés, est double autour du sommet. — *f*, fibres.

Fig. 469. Portion de la section transversale de la tige hypocotylée binaire du *Sherardia arvensis*, passant par l'axe d'une jeune racine déviée à droite. L'épiderme est double au sommet; l'écorce est triple à la base, où se fait

à travers l'épistèle le raccord des endodermes. La poche digestive est simple.

Fig. 470. Portion d'une section transversale de la tige de l'*Asperula taurina*, passant par l'axe d'une très jeune radicelle. Les cellules péricycliques rhizogènes se voient encore bien. L'épiderme est double au sommet; l'écorce est triple à la base. La poche digestive est simple.

Fig. 471. Une racine de la même plante à un état plus avancé. Les grandes cellules péricycliques primitives se distinguent encore nettement. L'épiderme et l'écorce n'ont pris que deux cloisons tangentielles. Les cellules du parenchyme libérien sous-jacent se sont accrues et cloisonnées pour former la base du cylindre central.

Fig. 472. Portion d'une section transversale de la tige de l'*Asperula odorata*, passant par l'axe d'une racine au premier état. Cinq cellules du rang le plus interne du parenchyme libérien forment l'arc rhizogène et ont séparé les trois régions et l'épistèle.

Fig. 473. État plus avancé d'une racine de la même plante. L'endoderme commence à se résorber. Le péricycle et la zone libérienne extérieure au mamelon se dilatent et constituent la poche digestive.

Fig. 474. État encore plus avancé de la racine de la même plante. Les grandes cellules primitives se voient toujours bien. L'épiderme est double au sommet et l'écorce double à la base. L'endoderme et l'écorce interne de la tige sont digérés. La poche digestive compte trois ou quatre assises au sommet et renferme çà et là des paquets de tubes criblés plus ou moins écrasés.

Fig. 475. Portion d'une section transversale de la tige hypocotylée du *Zinnia Hoogheana*, passant par l'axe d'une jeune racine, située en face d'un rayon. Les six cellules primitives de l'arc rhizogène se distinguent encore bien. C'est la médiane de gauche qui, refoulant sa voisine, donne à la racine ses trois sortes d'initiales. L'épiderme est double au sommet; l'écorce est double à la base. La poche est simple.

Fig. 476. Portion d'une section transversale de la tige du *Spilanthes oleracea*, passant par l'axe d'une racine insérée en face d'un rayon. Les six cellules péricycliques rhizogènes primitives se distinguent encore bien. Les deux médianes donnent à chaque région une paire d'initiales. L'épiderme de la racine est quadruple au sommet; l'écorce est quadruple à la base, où s'opère le raccord des endodermes. La poche digestive est simple.

Monocotylédones (pl. XXXII-XXXVI).

Planche XXXII.

Fig. 477. Portion d'une section transversale de la tige de l'*Oryza sativa*, passant par l'axe d'une racine au premier état. Les trois cellules péricycliques rhizogènes ont pris la cloison séparatrice du cylindre central. L'endoderme actuel demeure simple en dehors de la racine, où il forme la poche; il se dédouble partout ailleurs.

Fig. 478. Portion de la section transversale de la tige de la même plante, passant par l'axe d'une racine plus avancée. L'épiderme et l'écorce sont séparés au sommet. L'épistèle, très développée, est quintuple à la base. La poche, dédoublée autour du sommet, est digérée au-dessus de la base, qui est incorporée.

Fig. 479. Portion de la section transversale de la tige de l'*Ægilops Aucheri*, passant par l'axe d'une jeune racine. La cloison séparatrice de l'écorce et de l'épiderme est fortement concave en dehors. L'épiderme est quadruple au sommet. La poche est simple à la base, double à l'extrémité.

Fig. 480. Portion d'une section transversale de la tige du *Lolium speciosum*, passant par l'axe d'une jeune racine. L'épiderme, fortement convexe vers l'intérieur, a six ou sept assises en son milieu. La poche endodermique est simple à la base, où elle va être résorbée à droite, double autour de l'extrémité.

Fig. 481. Portion d'une coupe transversale de la tige du *Cenchrus tribuloides*, passant par l'axe d'une racine très jeune. Une seule cellule péricyclique produit toute la racine. L'épiderme et l'écorce ne s'y séparent que dans sa région moyenne. La poche est simple.

Fig. 482. Portion d'une coupe transversale de la tige du *Triticum villosum*, passant par l'axe d'une racine moyennement avancée. L'épiderme, fortement convexe en dedans, a quatre assises en son milieu. La poche, simple à la base, a quatre assises au sommet.

Fig. 483. Portion d'une coupe transversale de la tige du *Panicum miliaceum*, passant par l'axe d'une racine au premier état. L'axe rhizogène comprend trois cellules superposées à un faisceau libéroligneux; elles n'ont encore séparé que le cylindre central.

Fig. 484. Racine de la même plante plus âgée. L'écorce et l'épiderme se sont séparés dans la cellule médiane. La poche est encore simple.

Fig. 485. Portion d'une section transversale de la tige du *Panicum roseum*, passant par l'axe d'une racine plus avancée que les précédentes. L'épiderme est triple au milieu. La poche est simple, et n'a à digérer que trois assises corticales, plus l'épiderme.

Fig. 486. Portion d'une section transversale de la tige du *Sorghum saccharatum*, passant par l'axe d'une racine. L'arc rhizogène prend huit cellules péricycliques, qui sont encore bien visibles; l'une des médianes donne seule les initiales des trois régions. L'endoderme actuel demeure simple en face de la racine et se divise activement partout ailleurs pour produire la zone corticale interne et l'endoderme définitif.

Fig. 487. Portion d'une section transversale de la tige du *Bromus pendulinus*, passant par l'axe d'une racine plus avancée que les précédentes. L'épiderme, convexe en dedans, est quadruple au milieu. La poche est digérée au-dessus de sa base, qui est incorporée, et soulevée en forme de bonnet; elle est triple au sommet.

Fig. 488. Portion d'une coupe transversale du rhizome du *Scirpus lacustris*,

passant par l'axe d'une racine au premier état. L'arc rhizogène prend trois cellules péricycliques, qui n'ont encore séparé que le cylindre central.

Fig. 489. Racine plus avancée de la même plante. L'épiderme et l'écorce sont séparés, mais seulement dans la région médiane de la cellule centrale de l'arc. L'épiderme, encore simple, s'enchâsse dans la poche encore continue.

Fig. 490. Racine plus avancée de la même plante. L'épiderme est double; la poche est encore continue.

Fig. 491. Racine encore plus avancée de la même plante. L'épiderme est triple au sommet et complètement enchâssé dans la poche, dont le bonnet supérieur se détache d'avec la base incorporée.

Fig. 492. Portion d'une coupe transversale de la tige de l'*Eriophorum latifolium*, passant par l'axe d'une racine. L'arc rhizogène a six cellules et découpe l'épiderme dans les quatre médianes. L'épiderme est double; la poche est encore simple et continue.

Fig. 493. Portion d'une coupe transversale du rhizome du *Cyperus alternifolius*, passant par l'axe d'une très jeune racine. L'arc rhizogène comprend sept cellules; l'épiderme n'est découpé que dans la médiane.

Fig. 494. Racine plus avancée de la même plante. L'épiderme est double; la poche est encore simple et continue.

Fig. 495. Portion d'une section transversale du rhizome du *Carex hirta*, passant par l'axe d'une racine au premier état. L'arc rhizogène prend quatre cellules péricycliques, qui n'ont encore découpé que le cylindre central. La poche endodermique est double.

Planche XXXIII.

Fig. 496. Portion d'une section longitudinale de la tige du *Spirodela polyrhiza*, passant par l'axe d'une jeune racine. Le cylindre central est séparé; mais l'épistèle, triple sur les flancs, a encore ses deux cellules terminales indivises. La poche est double autour de l'extrémité et commence à digérer l'écorce.

Fig. 497. Portion d'une section longitudinale de la tige du *Lemna trisulca*, passant par l'axe d'une racine plus âgée. L'épiderme et l'écorce sont séparés au sommet; le premier reste simple indéfiniment. La poche est triple à l'extrémité; elle a digéré toute l'écorce et refoulé l'épiderme *ep'*, qui l'enveloppe encore d'une gaine continue.

Fig. 498. Portion d'une coupe transversale de la tige du *Potamogeton polygonifolius*, passant par l'axe d'une jeune racine. Les trois régions sont séparées; l'épiderme est encore simple. La poche est simple et encore continue.

Fig. 499. Racine de la même plante, plus avancée. L'épiderme est dédoublé au sommet. La poche est encore continue, et l'épiderme s'y est logé dans une dépression.

Fig. 500. Portion d'une section transversale de la tige du *Calla palustris*,

passant par l'axe d'une jeune racine. Les trois régions sont séparées. L'épiderme est encore simple. La poche est simple et encore continue.

Fig. 501. Racine de la même plante, plus avancée. L'épiderme est double au sommet et s'est enfoncé dans une dépression de la poche, qui est encore continue.

Fig. 502. Portion d'une section transversale du rhizome du *Typha latifolia*, passant par l'axe d'une jeune racine. Les trois régions sont séparées. L'épiderme est déjà triple à l'extrémité. L'écorce a une seule initiale, avec un segment indivis à gauche. L'épistèle est peu développée.

Fig. 503. Portion de la section transversale de la tige du *Triglochin maritimum*, passant par l'axe d'une jeune racine. Les trois régions sont séparées. L'épiderme ne s'est découpé que dans une partie de la cellule rhizogène médiane.

Fig. 504. Racine de la même plante, plus avancée. L'épiderme est triple. L'écorce, terminée par deux initiales, est quintuple à la base. La poche est simple et se détache à droite au niveau de la séparation de l'épiderme.

Fig. 505. Portion d'une section transversale de la tige du *Juncus glomeratus*, passant par l'axe d'une jeune racine. L'arc rhizogène a sept cellules; l'épiderme est séparé de l'écorce dans les trois médianes.

Fig. 506. Portion d'une coupe transversale de la tige du *Juncus maritimus*, passant par une racine plus avancée. L'épiderme est découpé dans les deux cellules médianes de l'arc rhizogène, qui a six cellules; il est double. La poche est dédoublée au sommet.

Fig. 507. Racine de *Juncus glomeratus*, beaucoup plus âgée. La poche est toujours simple tout autour. L'épiderme a neuf assises au sommet. L'écorce a une dizaine d'assises à la base.

Fig. 508. Portion d'une coupe transversale de la tige du *Luzula maxima*, passant par l'axe d'une racine au premier état. L'arc rhizogène comprend cinq cellules, qui n'ont encore séparé que le cylindre central.

Fig. 509. Racine de la même plante, plus âgée. L'épiderme n'est découpé qu'au sommet. La poche, encore continue, est dédoublée à l'extrémité.

Fig. 510. Portion d'une section transversale de la tige de l'*Alisma natans*, passant par l'axe d'une racine au premier état. L'arc rhizogène comprend trois cellules, qui n'ont encore découpé que le cylindre central.

Fig. 511. Racine de la même plante, plus avancée. L'épiderme et l'écorce sont séparés au sommet dans les deux cellules terminales actuelles.

Fig. 512. État plus avancé de la même racine. L'épiderme, encore simple, se loge dans une dépression de la poche au sommet.

Fig. 513. Racine de la même, plante encore plus âgée. L'épiderme, encore attaché à l'épistèle, mais sur le point de s'en detacher, est double au sommet. La poche, toujours simple, se sépare à droite, au-dessus de sa base, qui est incorporée à l'épistèle.

PLANCHE XXXIV.

Fig. 514. Portion d'une coupe transversale de la tige de l'*Alisma natans*, passant par une racine plus âgée que les précédentes. L'épiderme, encore adhérent à l'épistèle, est triple au sommet. La poche est détachée des deux côtés au-dessus de sa base. L'écorce, terminée par une initiale, a pris six assises vers le bas. L'écorce est digérée, sans que ses lacunes aérifères soient sensiblement comprimées.

Fig. 515. Portion d'une coupe transversale de la tige du *Sagittaria sagittifolia*, passant par l'axe d'une racine au premier état. L'arc rhizogène comprend trois cellules; le cylindre central s'est découpé dans la cellule médiane et dans une partie seulement des deux cellules latérales.

Fig. 516. État plus avancé, mais où l'épiderme et l'écorce ne sont pas encore séparés.

Fig. 517. L'épiderme s'est découpé au sommet dans les trois cellules terminales de l'épistèle ; il se loge déjà dans une dépression de la poche.

Fig. 518. Racine plus avancée de la même plante. L'épiderme est double. La poche est encore continue.

Fig. 519. Racine un peu plus âgée de *Sagittaria lancifolia*. L'épiderme est double. La poche commence à se détacher un peu au-dessous de la séparation de l'épiderme.

Fig. 520. Racine plus âgée de *Sagittaria sagittifolia*. L'épiderme, encore attaché à l'épistèle, est quadruple; il est niché dans la dépression de la poche. Celle-ci, toujours simple, est détachée au-dessus de sa base, qui demeure incorporée à la partie inférieure rétrécie de l'épistèle.

Fig. 521. Racine encore plus âgée de la même plante, montrant l'insertion sur le cylindre central. L'épiderme est encore attaché à l'épistèle. La seconde assise corticale s'est dédoublée.

Fig. 522. Portion d'une section transversale de la tige du *Damasonium stellatum*, passant par l'axe d'une racine au premier état. L'arc rhizogène ne comprend que deux cellules; elles n'ont séparé encore que le cylindre central.

Fig. 523. Racine plus avancée de la même plante. L'épiderme et l'écorce sont séparés au sommet. La poche est encore continue.

Fig. 524. Racine plus avancée de la même plante. L'épiderme est double; il est enchâssé dans une dépression de la poche. Celle-ci est détachée par la dilatation de l'épistèle; sa base est incorporée.

Fig. 525. Portion d'une coupe transversale de la tige du *Butomus umbellatus*, passant par l'axe d'une racine au premier état. L'arc rhizogène comprend trois cellules, qui n'ont encore séparé que le cylindre central.

Fig. 526. Racine plus avancée de la même plante. L'épiderme et l'écorce se sont séparés dans la partie médiane de la cellule moyenne. La poche est simple.

Fig. 527. Portion d'une section transversale de la tige de l'*Hydrocleis nymphoides*, passant par l'axe d'une racine au premier état. L'arc rhizogène comprend sept cellules encore indivises.

Fig. 528. Racine de la même plante, à l'état suivant. L'arc rhizogène n'a que cinq cellules, qui ont séparé le cylindre central.

Fig. 529. Racine plus avancée de la même plante. L'épiderme et l'écorce sont séparés au sommet. L'épiderme est enchâssé dans une dépression de la poche.

Fig. 530. Racine encore plus avancée. L'épiderme, encore attaché à l'épistèle, est double. La poche, toujours simple, se détache à droite, un peu au-dessus de sa base.

PLANCHE XXXV.

Fig. 531. Portion d'une section transversale de la tige du *Tradescantia zebrina*, passant par l'axe d'une racine au premier état. L'arc rhizogène comprend cinq cellules, qui ont séparé le cylindre central.

Fig. 532. Racine plus âgée de la même plante. L'épiderme est devenu triple au sommet. La poche, encore continue, se trouve amincie de chaque côté par l'épaississement de l'épistèle.

Fig. 533. Portion d'une section transversale d'une tige de germination du *Commelina tuberosa*, passant par l'axe d'une racine plus âgée que la précédente. L'épiderme, encore attaché à l'épistèle, a sept assises au sommet. La poche est simple et encore continue.

Fig. 534. Portion d'une section transversale de la tige du *Pontederia cordata*, passant par l'axe d'une jeune racine. L'arc rhizogène compte sept cellules, qui ont séparé le cylindre central. La poche est encore simple.

Fig. 535. Racine plus avancée de la même plante. L'épiderme et l'écorce ne sont pas séparés. L'épistèle se termine par une initiale, avec un segment indivis à droite. La poche s'est divisée trois fois autour du sommet.

Fig. 536. Racine plus âgée de l'*Eichhornia crassipes*. L'épistèle se termine par une initiale entre deux segments indivis. La poche est quadruple au sommet ; elle s'amincit sur les flancs, où elle est simple, et où elle se détachera plus tard.

Fig. 537. Portion d'une section transversale de la tige du *Majanthemum bifolium*, passant par l'axe d'une jeune racine. L'arc rhizogène a cinq cellules ; il a découpé d'abord le cylindre central, puis, dans sa cellule médiane seulement, l'épiderme et l'écorce.

Fig. 538. Racine plus âgée de la même plante. L'épiderme est triple au sommet. La poche, simple sur les flancs, est double autour de l'extrémité.

Fig. 539. Portion d'une section transversale de la tige du *Polygonatum vulgare*, passant par l'axe d'une racine plus avancée que la précédente, située vis-à-vis de l'intervalle de deux faisceaux libéroligneux. L'épiderme est quadruple au sommet. La poche, double dès la base, a trois ou quatre assises au sommet.

Fig. 540. Portion d'une section transversale de la tige de l'*Hemerocallis disticha*, passant par l'axe d'une racine. L'épiderme est triple au sommet. L'épistèle est longue et mince. Les initiales des trois régions sont enchevêtrées. La poche est partiellement dédoublée.

Fig. 541. Portion d'une section transversale de la tige de germination du *Pardanthus chinensis*, passant par l'axe d'une racine au premier état. L'arc rhizogène, formé de trois cellules, n'a encore découpé que le cylindre central.

Fig. 542. Racine plus âgée de la même plante. L'épiderme a quatre ou cinq assises au sommet. Ses initiales sont enchevêtrées avec celles des autres régions. La poche est simple, çà et là dédoublée.

Fig. 543. Portion d'une section transversale de la tige du *Costus speciosus*, passant par l'axe d'une racine au premier état. L'arc rhizogène, comprenant cinq cellules, n'a séparé encore que le cylindre central.

Fig. 544. Racine plus avancée de la même plante. L'épiderme est largement découpé au sommet, mais encore simple. L'écorce a une initiale entre deux paires de segments indivis. La poche est simple et encore continue.

Fig. 545. Portion d'une section transversale de la tige de germination du *Canna indica*, passant par l'axe d'une racine au premier état. L'arc rhizogène a cinq cellules ; l'épiderme n'est découpé que dans la cellule moyenne.

Fig. 546. Racine plus âgée de la même plante. L'épiderme, encore attaché à l'épistèle, est sextuple au sommet. La poche, simple et encore continue, va bientôt se détacher latéralement au-dessus de sa base.

Planche XXXVI.

Fig. 547 à 552. Portions de coupes transversales de la tige du *Vallisneria spiralis*, passant par l'axe d'une racine à divers états de développement. Dans les figures 547, 548, 549, le cylindre central est découpé, mais, dans le mamelon déjà très proéminent, l'écorce et l'épiderme ne sont pas encore séparés. Dans les figures 550 et 551, l'épiderme et l'écorce se sont découpés dans la cellule terminale de l'épistèle. L'épiderme est enchâssé aussitôt dans une dépression de la poche. Dans la figure 552, l'épiderme, encore attaché à l'épistèle, est triple au sommet. La poche, toujours simple, commence à se détacher latéralement de sa base, qui reste incorporée à la base rétrécie de l'épistèle.

Fig. 553 à 556. Portions de coupes transversales de la tige de l'*Elodea canadensis*, passant par l'axe d'une racine à divers états de développement. Dans la première, l'arc rhizogène superposé au liber n'a pas encore cloisonné ses cellules.

Fig. 554. Les quatre cellules de l'arc rhizogène ont découpé le cylindre central.

Fig. 555. La coupe comprend tout le cylindre central de la tige et deux jeunes

racines. Celle de droite est à l'état précédent. Celle d'en haut, plus avancée, a découpé son épiderme, logé déjà dans une dépression de la poche.

Fig. 556. L'épiderme, encore attaché à l'épistèle, est triple au sommet. La poche commence à se détacher au-dessus de son manchon basilaire, qui reste incorporé à l'épistèle.

Fig. 557 à 560. Portions de coupes de la tige du *Stratiotes aloides* passant par l'axe d'une racine à divers états. Dans la première, l'arc rhizogène, comprenant trois cellules, a découpé ses trois régions; l'épiderme n'est séparé que dans la partie médiane de la cellule moyenne. La poche a déjà divisé ses cellules.

Fig. 558. Racine plus avancée, dans une section transversale de la tige. L'épiderme est double au sommet. La poche s'est divisée rapidement et compte sept assises autour de l'extrémité.

Fig. 559. Racine un peu plus âgée, dans une section longitudinale de la tige. Elle est recourbée vers le bas. L'épiderme est triple. La poche est épaisse dans toute son étendue, mais surtout au sommet.

Fig. 560. Racine beaucoup plus âgée que la précédente. L'épiderme a six assises au sommet. La poche, encore continue, en compte jusqu'à douze autour de l'extrémité.

Fig. 561 à 563. Portions de coupes transversales de la tige de l'*Hydrocharis morsus-ranæ*, passant par l'axe d'une racine à divers états de développement. Dans la première, le cylindre central seul est séparé. L'épistèle est déjà dédoublée sur les flancs. La zone corticale interne forme une poche épaisse.

Fig. 562. L'épiderme et l'écorce sont séparés dans les deux cellules terminales de l'épistèle.

Fig. 563. L'épiderme est encore, et demeure indéfiniment simple. L'épaississement de l'épistèle a détaché les trois assises externes de la poche, qui en a six. Les trois internes se sépareront à leur tour, un peu plus tard, de la région basilaire, qui demeure incorporée à la base rétrécie de l'épistèle. C'est ce bonnet de poche ainsi détaché qui constitue toute la coiffe de la racine après sa sortie.

Cryptogames vasculaires (pl. XXXVII-XL).

Planche XXXVII.

Fig. 564. Portion d'une section transversale d'un jeune stolon aphylle de ***Nephrolepis exaltata***, montrant une partie du cylindre central avec deux faisceaux centripètes de protoxylème, un anneau libérien continu, un péricycle simple et un endoderme dédoublé tout autour en dedans des plissements, çà et là triple. Dans l'écorce on voit, en face d'un des faisceaux de protoxylème, un pédicule de racine *pd*, constitué comme le cylindre central de la tige, mais sur le type binaire; les deux faisceaux de protoxylème y

sont disposés suivant le rayon de la tige. Les parois de séparation de l'endoderme et de l'assise sus-endodermique ont commencé à s'épaissir et à brunir.

Fig. 565. Portion d'une section semblable pratiquée plus bas, à la jonction du pédicule *pd* de la racine avec le cylindre central de la tige. La fusion des endodermes dédoublés et des péricycles a déjà eu lieu; celle des anneaux libériens vient de s'opérer; les faisceaux de protoxylème sont encore distincts.

Fig. 566. Section longitudinale axile du sommet d'un stolon de *Nephrolepis davallioides*, montrant à droite une cellule de l'écorce interne demeurée indivise et devenant une cellule rhizogène *r*; l'écorce externe est encore simple au-dessus d'elle.

Fig. 567. Portion d'une section longitudinale axile de l'extrémité de la même tige, un peu plus bas. On voit à droite deux jeunes racines. En haut, la cellule rhizogène *r*, déjà portée sur un pédicule *pd*, a découpé vers le haut la première cellule basilaire; l'écorce externe est encore simple en dehors d'elle. En bas, le pédicule *pd* s'est épaissi et la cellule *r* a découpé vers le bas une cellule basilaire, tandis que celle du haut s'est dédoublée; les deux cellules basilaires ont pris leur première cloison tangentielle, qui est la cloison médio-corticale. L'écorce externe s'est dédoublée en dehors d'elle.

Fig. 568. Portion d'une section longitudinale axile de la même tige, passant par une jeune racine plus avancée. La cellule mère a découpé, après ses trois cellules de base, deux segments épidermiques et une série de segments cortico-stéliques. Ceux-ci ont pris la cloison tangentielle médio-corticale, pendant que les cellules de base ont acquis en outre la cloison séparatrice du cylindre central.

Fig. 569. Portion d'une section longitudinale axile de la même tige, passant par une racine beaucoup plus développée que la précédente. La cellule mère a découpé, au-dessus de ses cellules de base, trois séries de segments cortico-stéliques; elle a formé quatre segments épidermiques, dont l'externe demeure simple, les deux suivants sont dédoublés, le quatrième encore indivis. Les segments cortico-stéliques ont subi à divers degrés la série normale des cloisonnements tangentiels. A droite, se voit l'extrémité du pédicule péricyclique *pd* qui porte la racine. A gauche, les deux assises corticales qui la recouvent sont encore inattaquées *ec'*.

Planche XXXVIII.

Fig. 570. Portion d'une section longitudinale axile de la même tige passant par une racine encore plus âgée. Elle a digéré la seconde assise corticale, dont on voit encore quelques fragments de cellules en haut *d*. L'assise corticale externe s'est au contraire développée autour d'elle en forme de gaine *g*. Plus tard, cette gaine sera déchirée au sommet.

Fig. 571. Portion d'une section longitudinale axile de la tige du *Woodsia hyperborea*, passant par l'axe d'une jeune racine. La cellule mère a découpé,

au-dessus de ses cellules basilaires, une série de segments cortico-stéliques et deux segments épidermiques. L'un des segments internes a pris la cloison médio-corticale; l'autre a pris aussi la cloison séparatrice du cylindre central. La racine n'a en dehors d'elle que deux assises corticales *ec'*.

Fig. 572. Portion d'une section longitudinale axile de la tige du *Lygodium scandens* passant par l'axe d'une racine assez avancée. Elle a formé quatre séries de segments cortico-stéliques au-dessus des cellules basilaires, et quatre segments épidermiques dont l'externe est simple, tandis que les deux médians sont dédoublés. L'endoderme de la racine se raccorde avec l'endoderme de la tige le long du pédicule *pd*. La racine, entourée d'une poche digestive simple à base résorbée en bas, a commencé à digérer les assises corticales situées en dehors d'elle; elle en a encore quatre à traverser pour paraître au dehors.

PLANCHE XXXIX.

Fig. 573. Portion d'une section transversale de la tige du *Polypodium vaccinifolium*, comprenant une des stèles binaires avec sa bande vasculaire diamétrale tangentiellement dirigée. L'endoderme est dédoublé en dedans des plissements. Il n'y a pas de péricycle. Le liber ne passe pas en dehors des faisceaux ligneux et forme deux arcs en alternance avec eux.

Fig. 574. Portion d'une section longitudinale axile de la tige du *Marsilia Drummondii*, passant par l'axe d'une racine assez avancée. La digestion de la seconde assise corticale est commencée. Les segments épidermiques, au nombre de six, sont tous simples.

Fig. 575. Section transversale de la tige de l'*Azolla filiculoides*, comprenant tout le cylindre central. L'endoderme est dédoublé en dedans des plissements et il n'y a pas de péricycle. Il y a deux groupes de trois vaisseaux, séparés par une grande cellule au centre; les vaisseaux du groupe inférieur sont plus larges. Les tubes criblés sont disposés çà et là contre l'endoderme.

Fig. 576. Portion d'une section longitudinale axile de la tige de l'*Azolla filiculoides*, passant par une racine assez avancée. La seconde assise corticale est entièrement digérée; l'assise externe au contraire se développe en une gaine *ga*. L'épiderme se compose d'un seul segment, dédoublé dans toute son étendue.

Fig. 577. Portion d'une coupe longitudinale de la même tige, passant par l'axe d'une racine plus âgée. La gaine épidermique de la tige *ga* vient d'être déchirée circulairement au-dessus de sa base, formant une collerette en bas et un bonnet en haut. Les deux assises de l'épiderme sont encore toutes deux appliquées sur la racine et continues à la base.

Fig. 578. Extrémité d'une racine plus âgée de la même plante, montrant la calyptre divisée en deux calottes : l'externe écartée latéralement de la racine, qu'elle couvre comme d'un éteignoir; l'interne encore appliquée dans toute sa longueur sur le membre.

Fig. 579. Section longitudinale axile de cette racine. Le bonnet de la gaine

ne persiste que par quelques cellules aplaties tout autour du sommet *ga*. La calotte externe de la calyptre s'est détachée à la base et s'est dilatée tout autour de manière à s'écarter de la racine, à laquelle elle ne demeure appliquée qu'au sommet. Dans la partie écartée, les cellules sont longues et plates; dans la partie terminale adhérente, elles sont courtes et hautes. La calotte interne est appliquée sur la racine dans toute son étendue; ses cellules terminales, courtes et hautes, se sont dédoublées par une cloison tangentielle.

Planche XL.

Fig. 580. Portion d'une section longitudinale de la tige de l'*Equisetum palustre*, montrant, à droite et en haut, une cellule mère de bourgeon encore simple *b*, et, deux nœuds plus bas, une pareille cellule mère cloisonnée, ayant formé en *r* la cellule mère de la racine gemmaire.

Fig. 581. Section longitudinale axile de la racine gemmaire un peu plus tard. La cellule mère a formé, au-dessus de ses trois cellules de base, deux séries de segments. Elle a produit aussi trois segments épidermiques encore simples. L'épiderme a déjà digéré une partie du tissu de la gaine foliaire sous-jacente de la tige mère.

Fig. 582. Portion d'une section longitudinale axile de l'extrémité de la tige du *Lycopodium inundatum*, passant par l'axe d'une racine assez avancée. Elle est recouverte par l'endoderme et par quatre ou cinq assises corticales. Son épiderme compte cinq ou six assises au sommet. Son écorce n'a au sommet qu'une initiale qui vient de se dédoubler tangentiellement; elle est double, puis triple latéralement, de sorte que son extrémité est légèrement concave. Son cylindre central a une initiale au sommet. Sur les flancs, il est recouvert par une épistèle étroite et longue, elle-même entourée par l'endoderme de la tige.

Fig. 583. Portion d'une section longitudinale axile de la tige de l'*Isoetes lacustris*, passant par l'axe d'une racine. L'épiderme, simple sur les flancs, est quadruple au sommet. L'écorce, double latéralement, est terminée par quatre cellules indivises, dont une ou deux seulement sont des initiales.

Fig. 584. Section transversale de la racine terminale quaternaire du *Convolvulus arvensis*, passant à la fois par l'insertion d'une radicelle et par celle d'un bourgeon. L'une et l'autre sont placés en face d'un faisceau ligneux. La radicelle a une poche digestive endodermique; le bourgeon n'en a pas.

Fig. 585. Section transversale de la racine terminale binaire de l'*Anemone pensylvanica*, passant par l'axe d'un bourgeon encore inclus, faisant avec la bande vasculaire diamétrale une déviation d'environ 40 degrés. Le cylindre central a déjà du liber et du bois secondaires. L'endoderme ne forme pas de poche digestive.

Fig. 586. Portion de cette même section transversale, fortement grossie. On voit que le bourgeon *b* digère directement, d'abord l'endoderme, puis toutes les autres assises de l'écorce; il n'y a pas de poche digestive.

TABLE ALPHABÉTIQUE

DES FAMILLES, ORDRES ET CLASSES ÉTUDIÉS DANS CE MÉMOIRE (1).

(1) Quand il y a plusieurs numéros de pages, le premier est relatif à l'origine des radicelles, le deuxième à l'origine des racines latérales, le troisième à l'origine des autres membres endogènes.

T

U

V

X

Z

TABLE DES ARTICLES

CONTENUS DANS CE VOLUME

ORGANOGRAPHIE, ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES

TABLE DES MATIÈRES

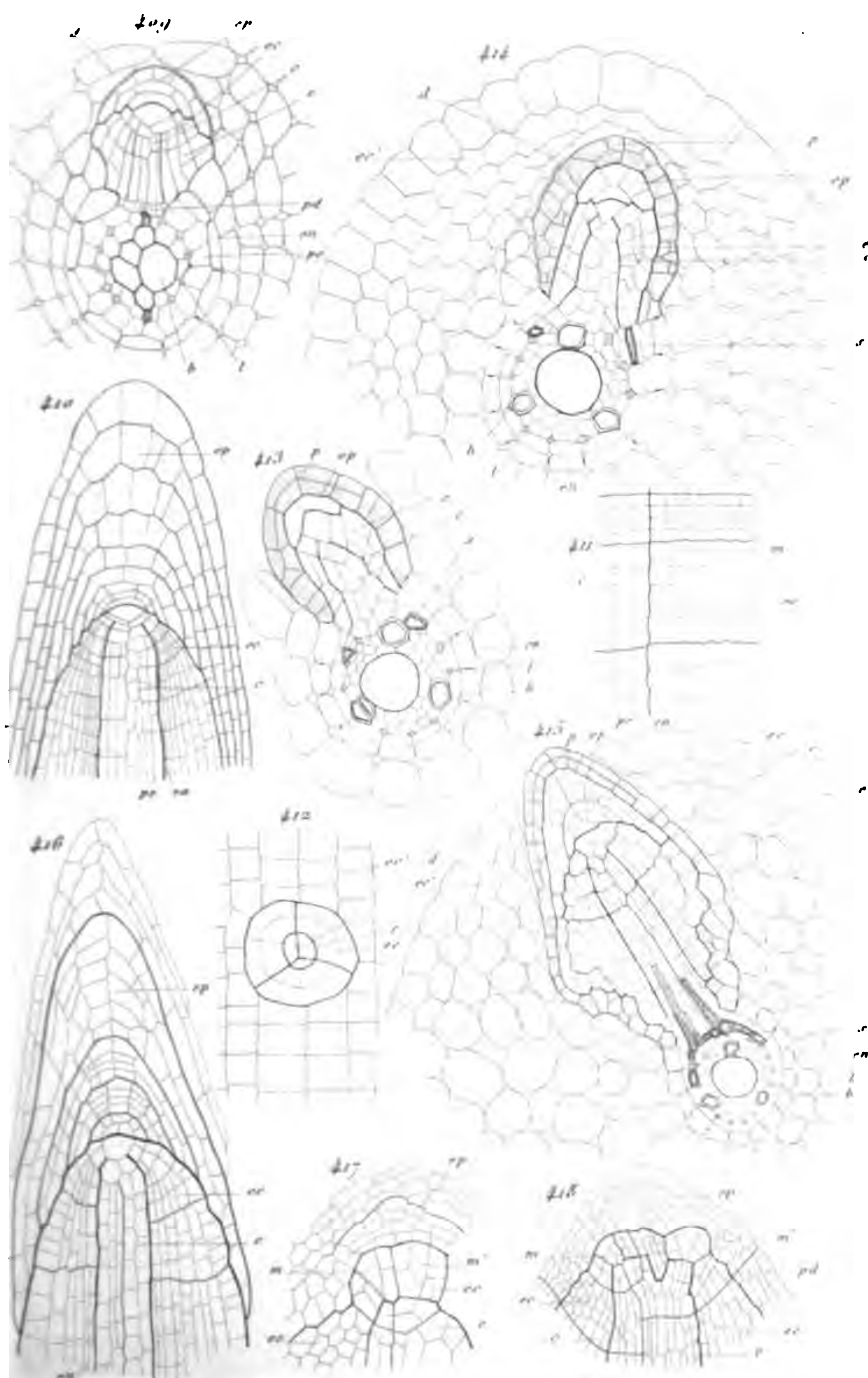
PAR NOMS D'AUTEURS

TABLE DES PLANCHES

CONTENUES DANS CE VOLUME

17798. — Imprimeries réunies, A, rue Mignon, 2, Paris.

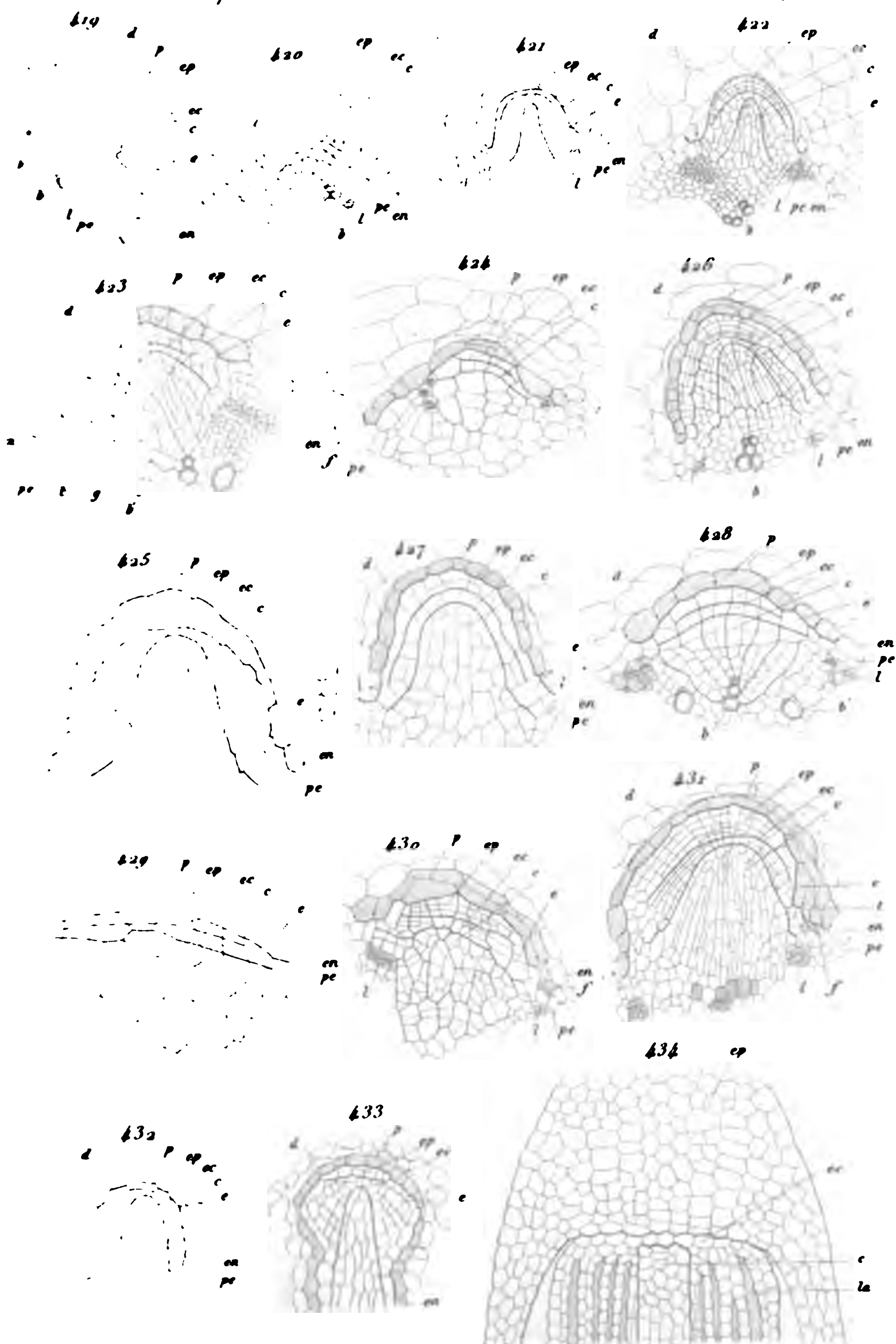




Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. — Bonnet sc.

Origine des radicelles _ Cryptogames vasculaires.

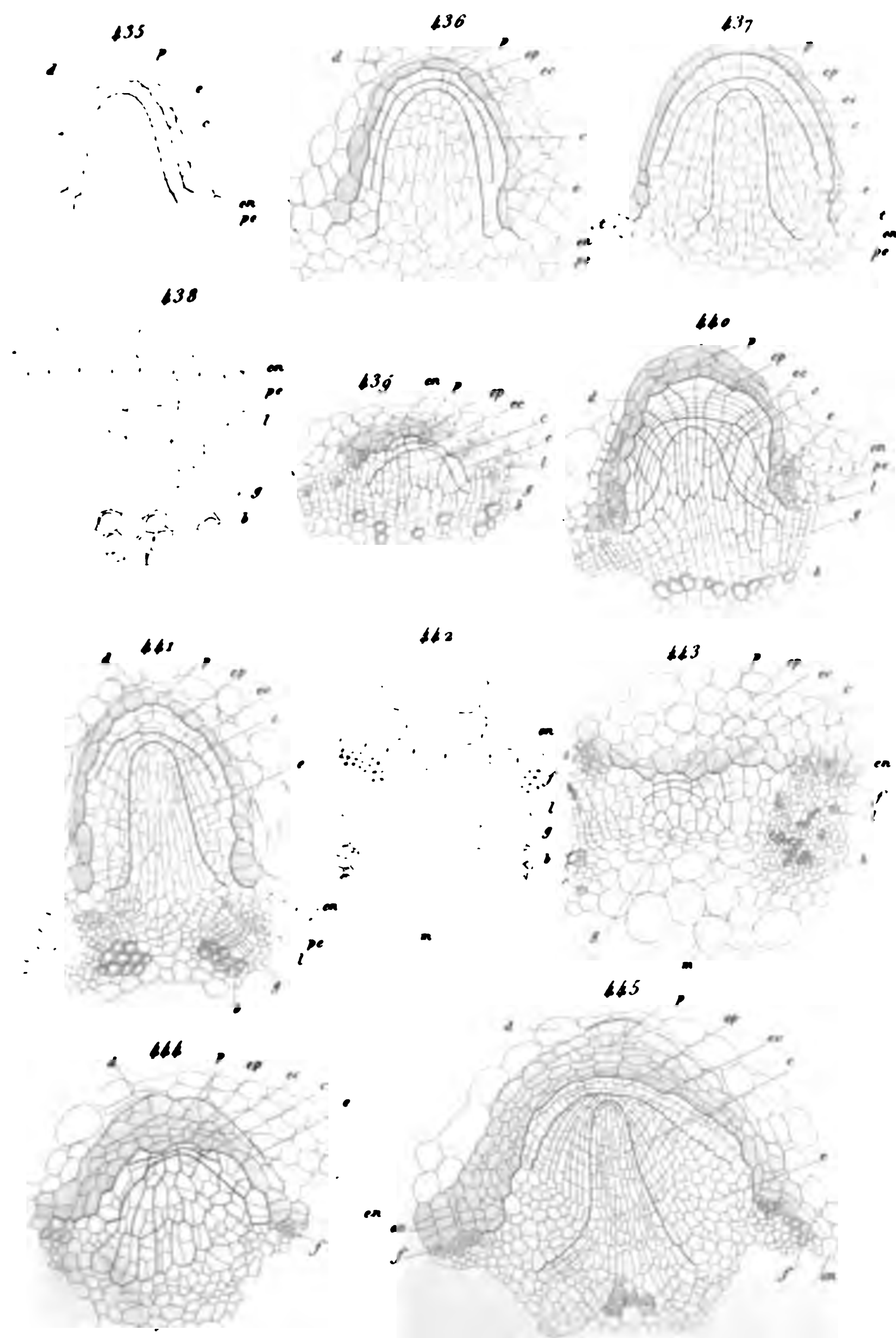
Marsiliacées (409 _ 412) _ Equisétacées (413 _ 416) _ Sélaginellées (417 _ 418).



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. M.me C. Jeannert sc.

Origine des racines latérales — Dicotylédones.

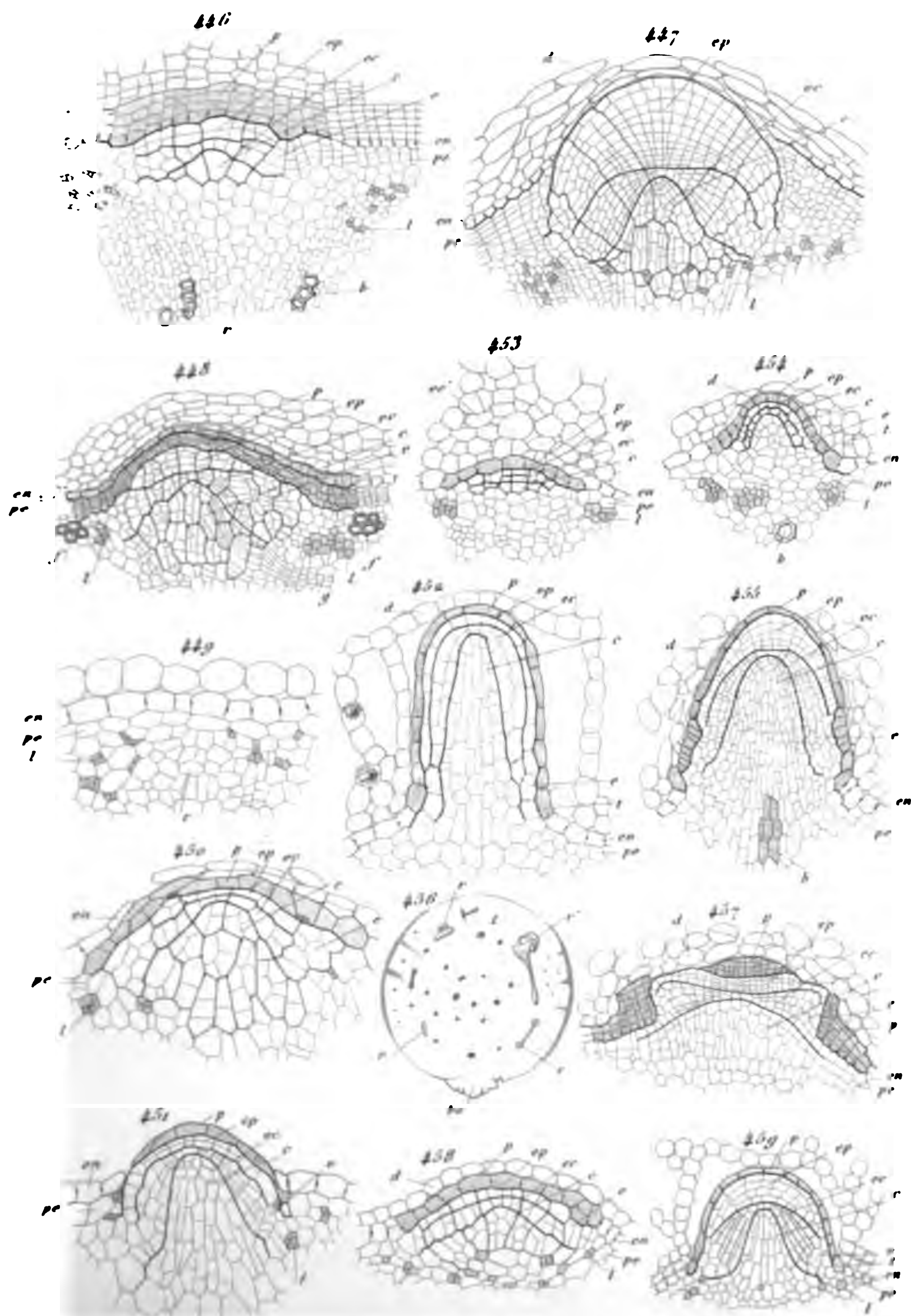
Crucifères (419). Portulacées (420-422). Amarantacées (423). Urticacées (424-426). Pipéracées (427). Polygonées (428-431). Nymphéacées (432-434).



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. — Mme C. Jeannest sc.

Origine des racines latérales — Dicotylédones.

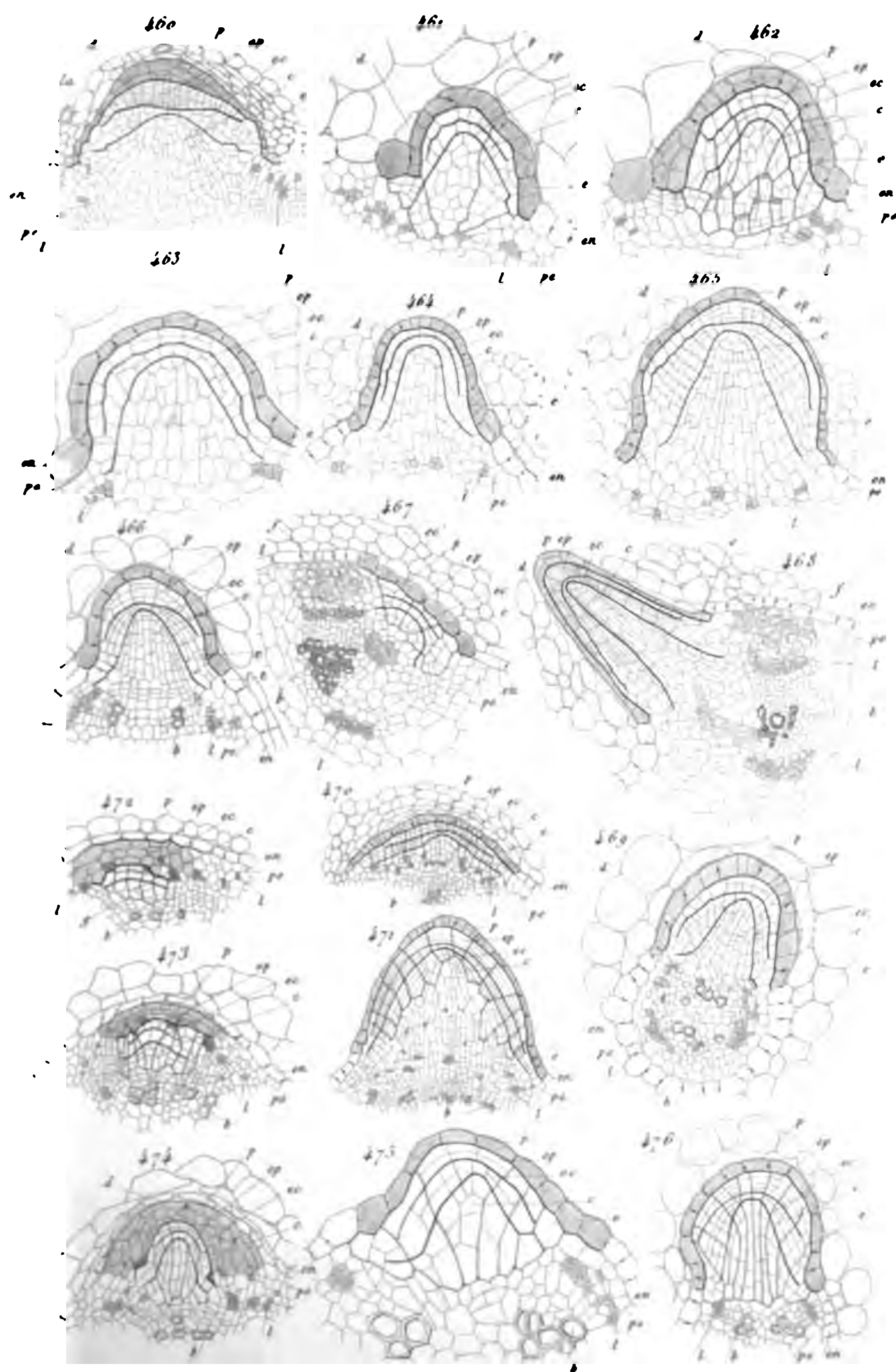
Nelombées (435-436) — Callitrichées (437) — Violacées (438-440) — Légumineuses (441-445).



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des racines latérales — Dicotylédones.

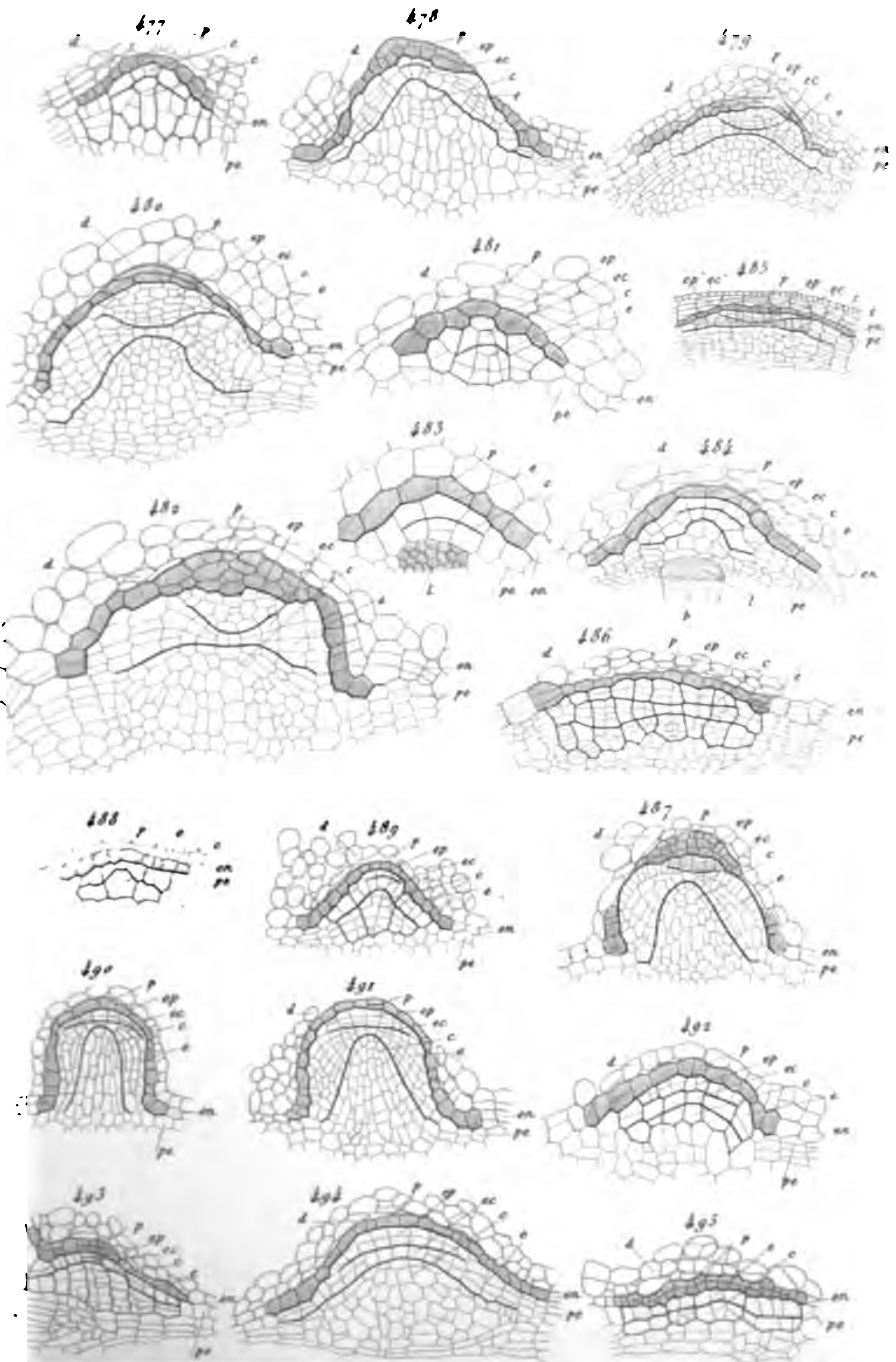
Rosacées (446-448) - Œnothéracées (449-452) - Haloragées (453-454) - Ombellifères (455) - Primulacées (456-457) - Polémoniées (458) - Gentianées (459).



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des racines latérales — Dicotylédones.

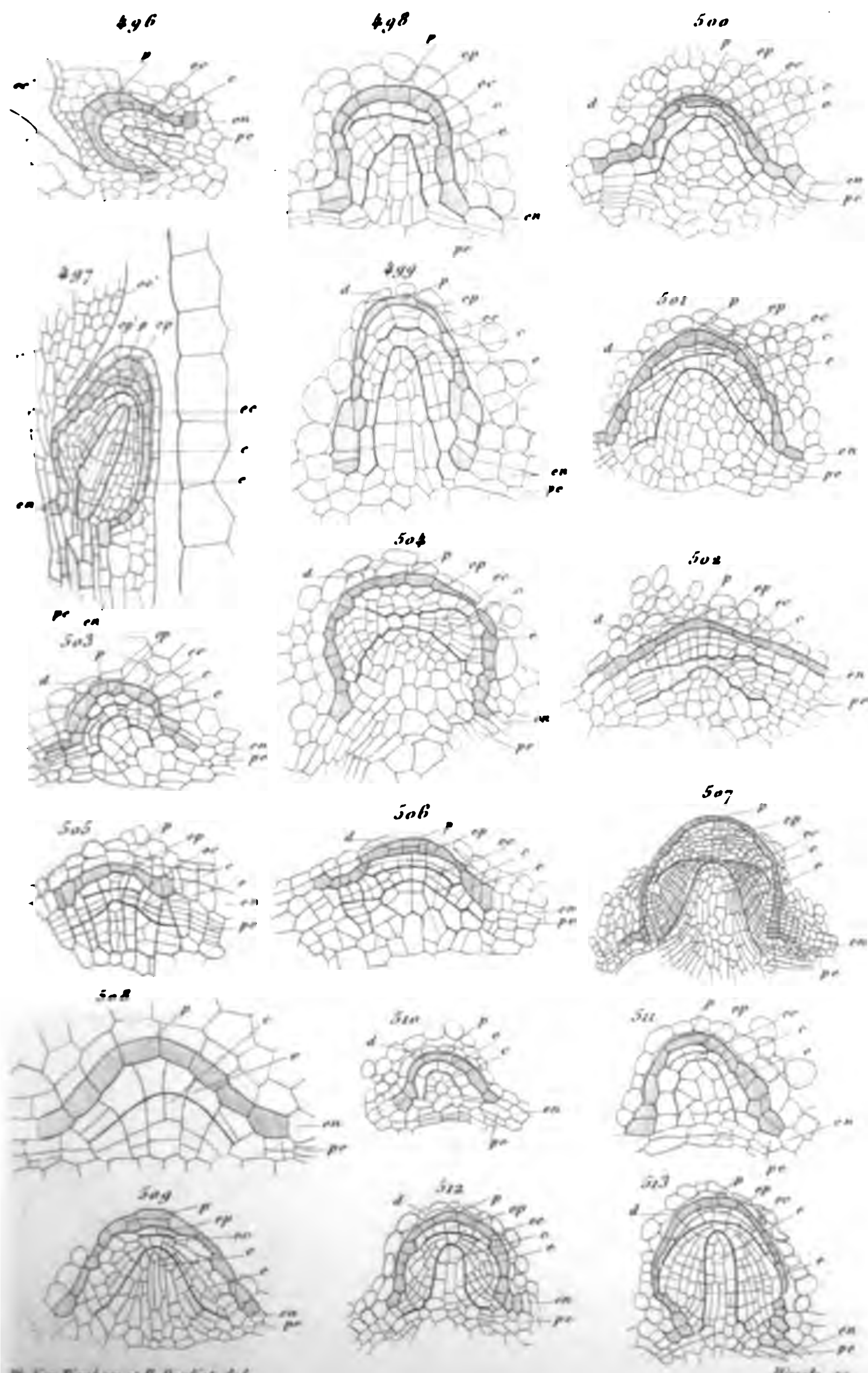
[illegible] 460. [illegible] 461 463. Plantaginées 464 465. Lobeliées 466. –



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des racines latérales — Monocotylédones.

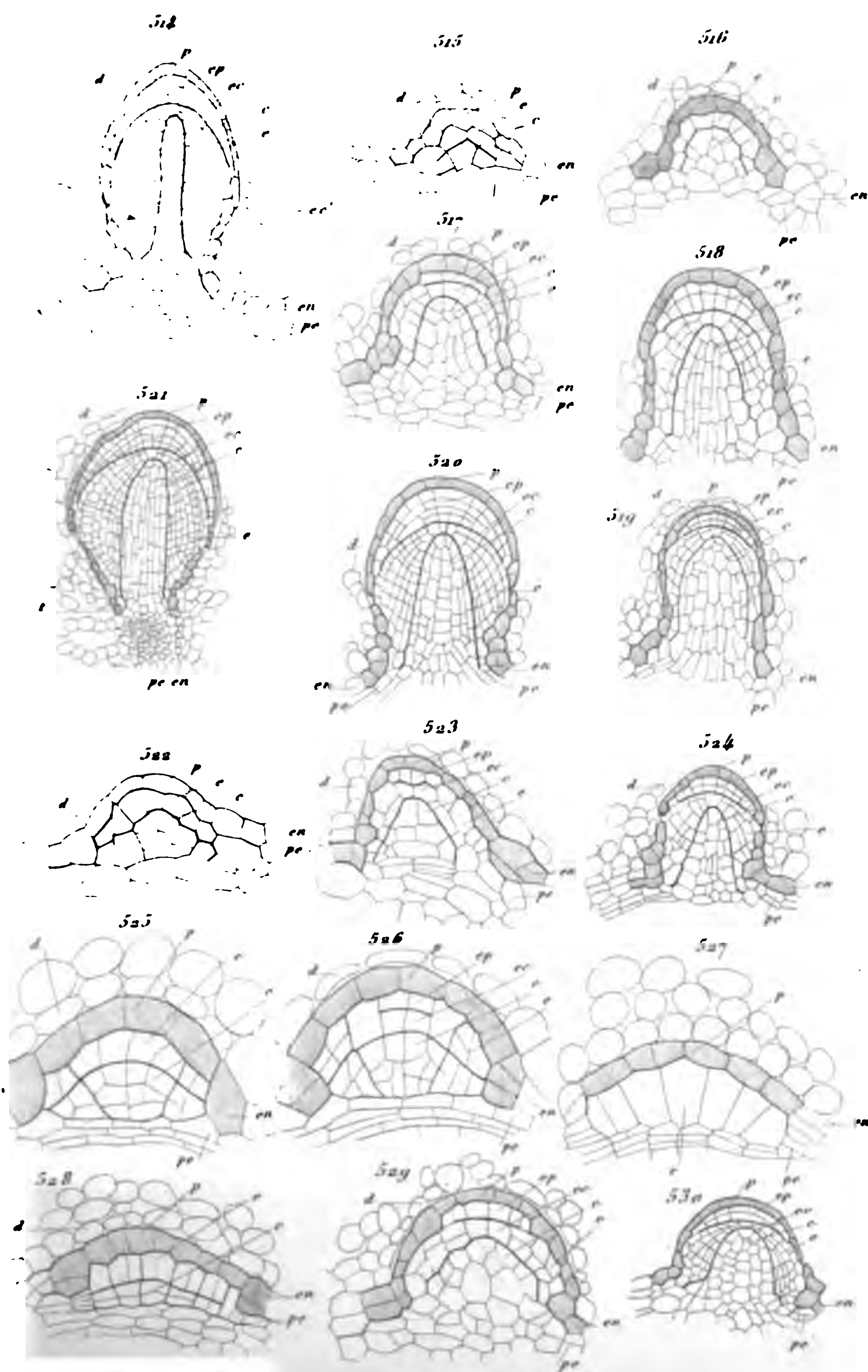
Graminées 477-487 — Cypéracées 488-495.



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Himely sc.

Origine des racines latérales _ Monocotylédones.

Lemnacées (496_497) _ Naiadacées (498_499) _ Aroidées (500_501) _ Typhacées (502) _

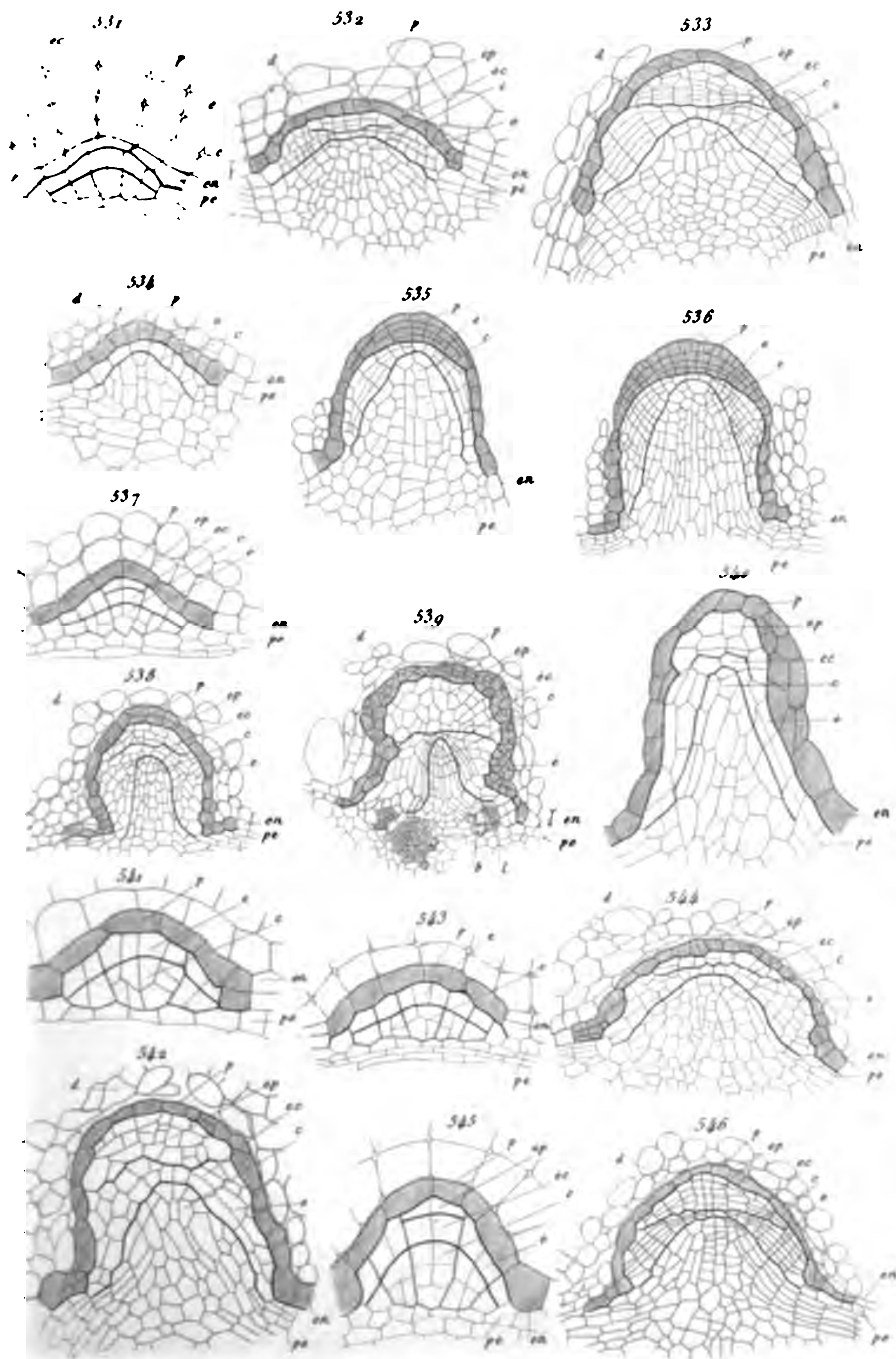


Ph. Van Tieghem et H. Douliot del.

Himely sc.

Origine des racines latérales — Monocotylédones.

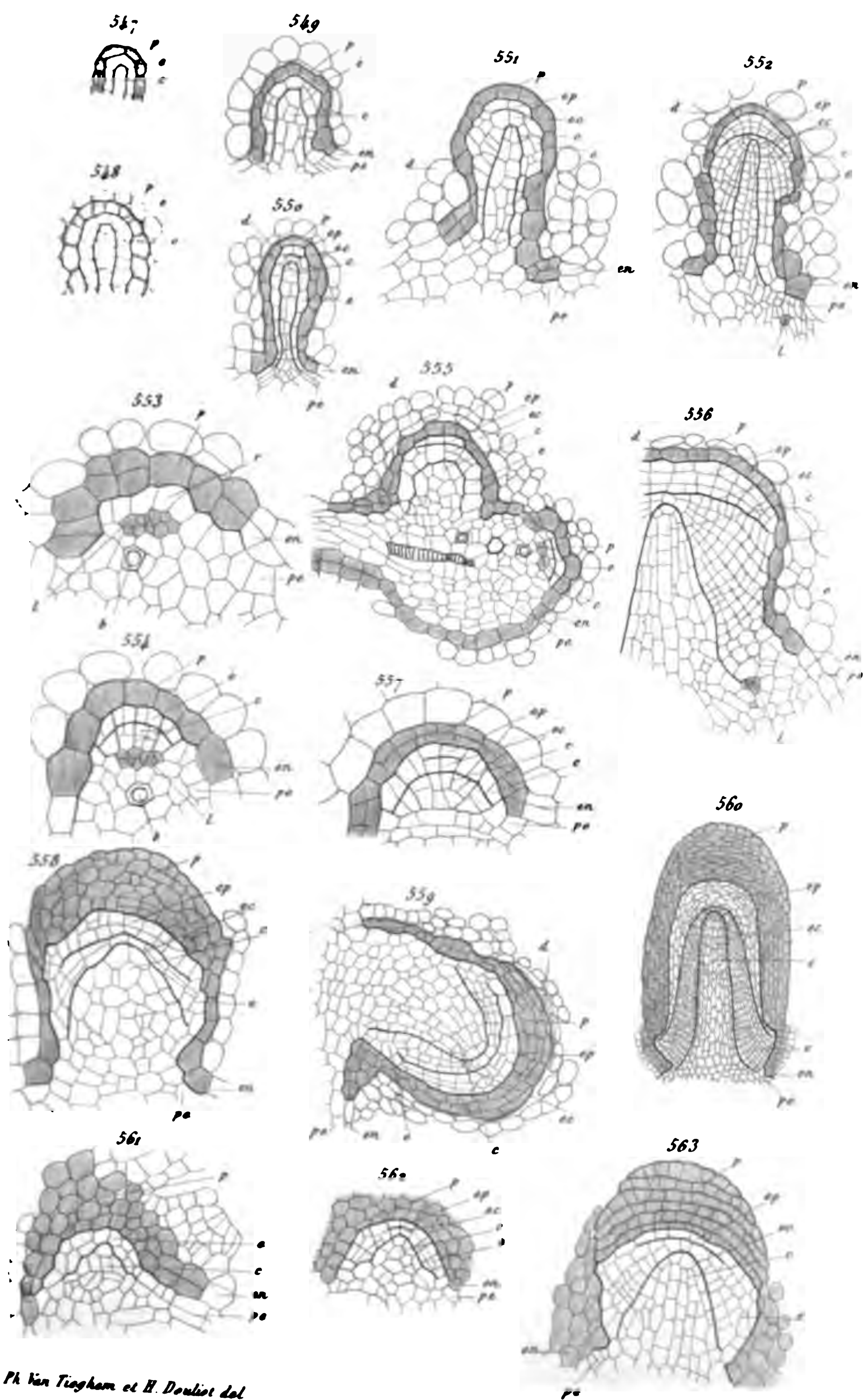
Alismées (514_524) _ Butomées (525_530).



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des racines latérales — Monocotylédones.

Commelinacées (531-533). Pontederiacées (534-536). Liliacées 537-540. Iridées 541-542. Zingiberées (543-544). Cannées 545-546.

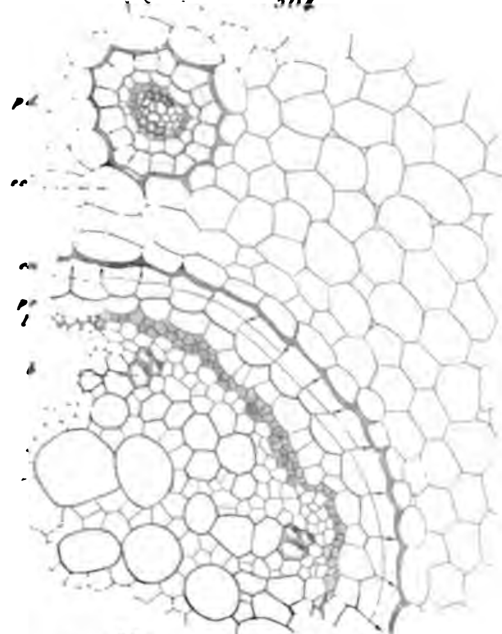


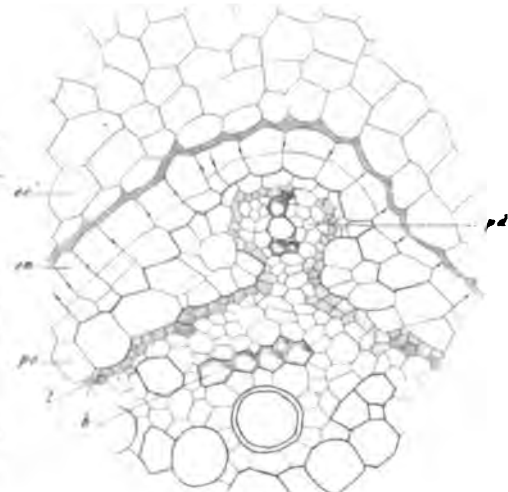
Ph. Van Tieghem et H. Douliot del

Bonnet sc

Origine des racines latérales — Monocotylédones.

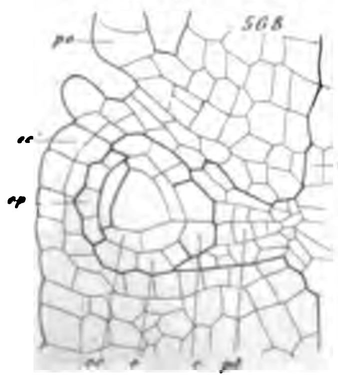
Hydrocharidées 547-563.







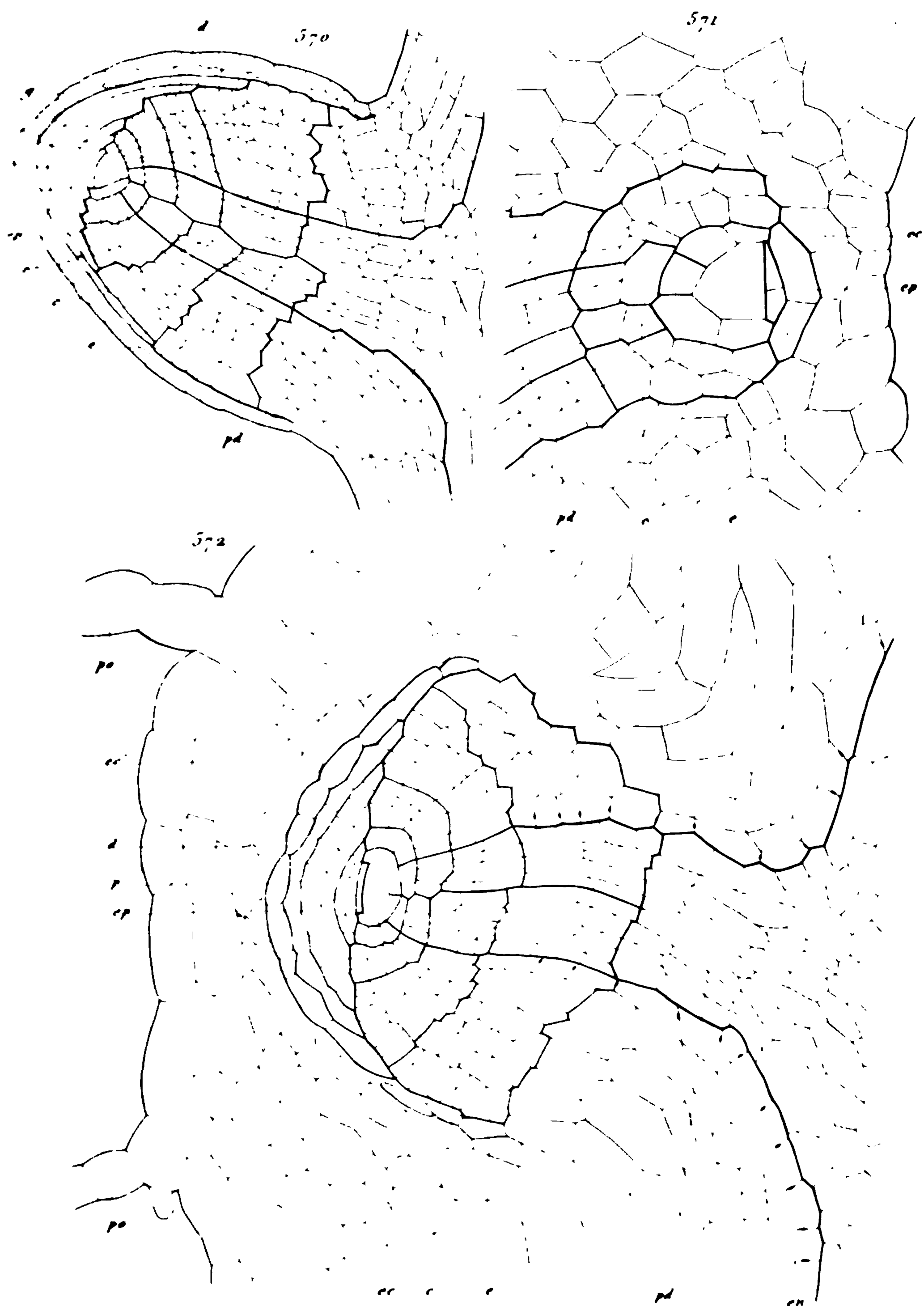






Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Himely sc.

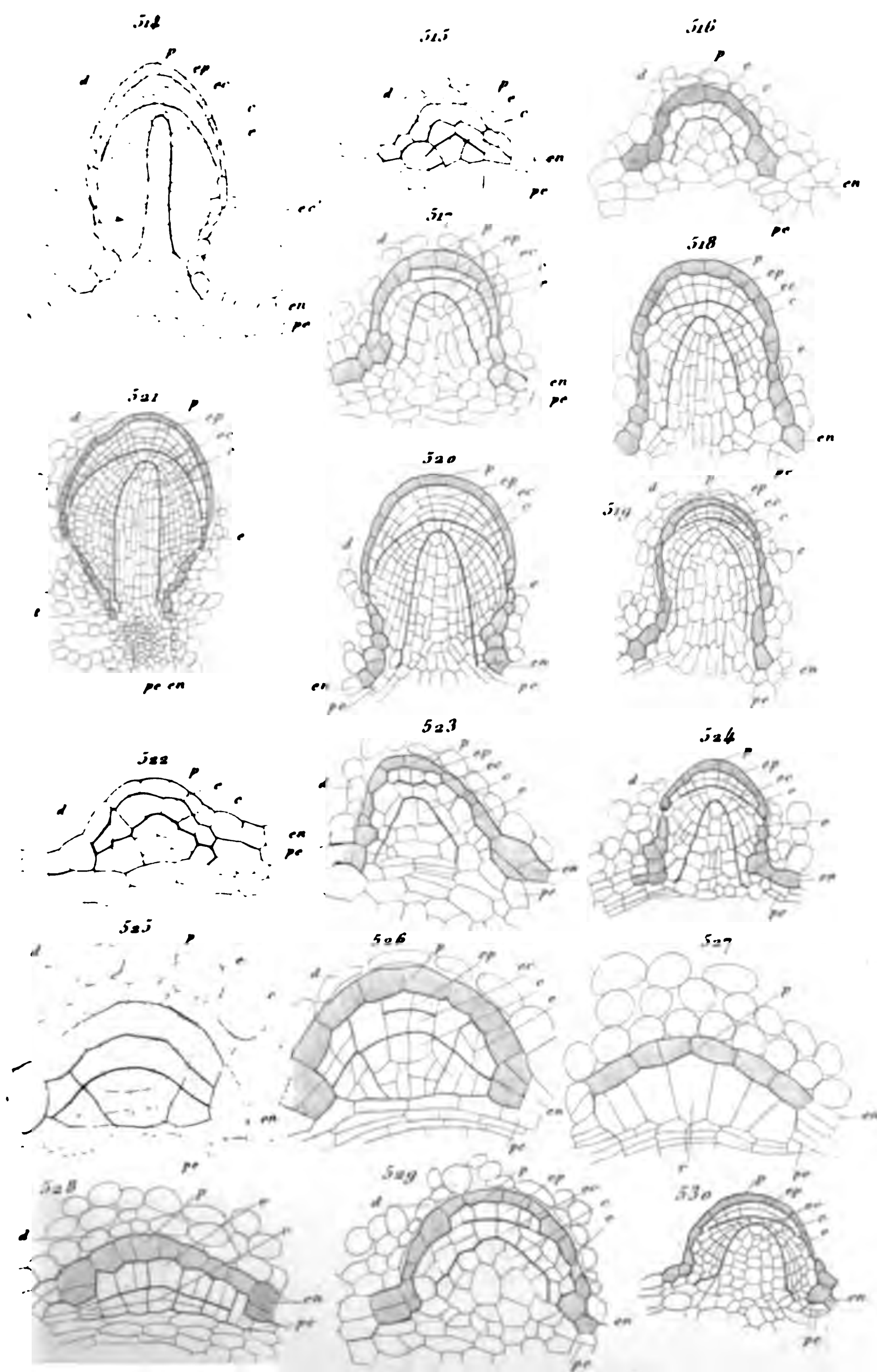
Origine des racines latérales — Cryptogames vasculaires. Fougères (564 - 569)



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Humely sc.

Origine des racines latérales — Cryptogames vasculaires.

Fougeres (570–572)

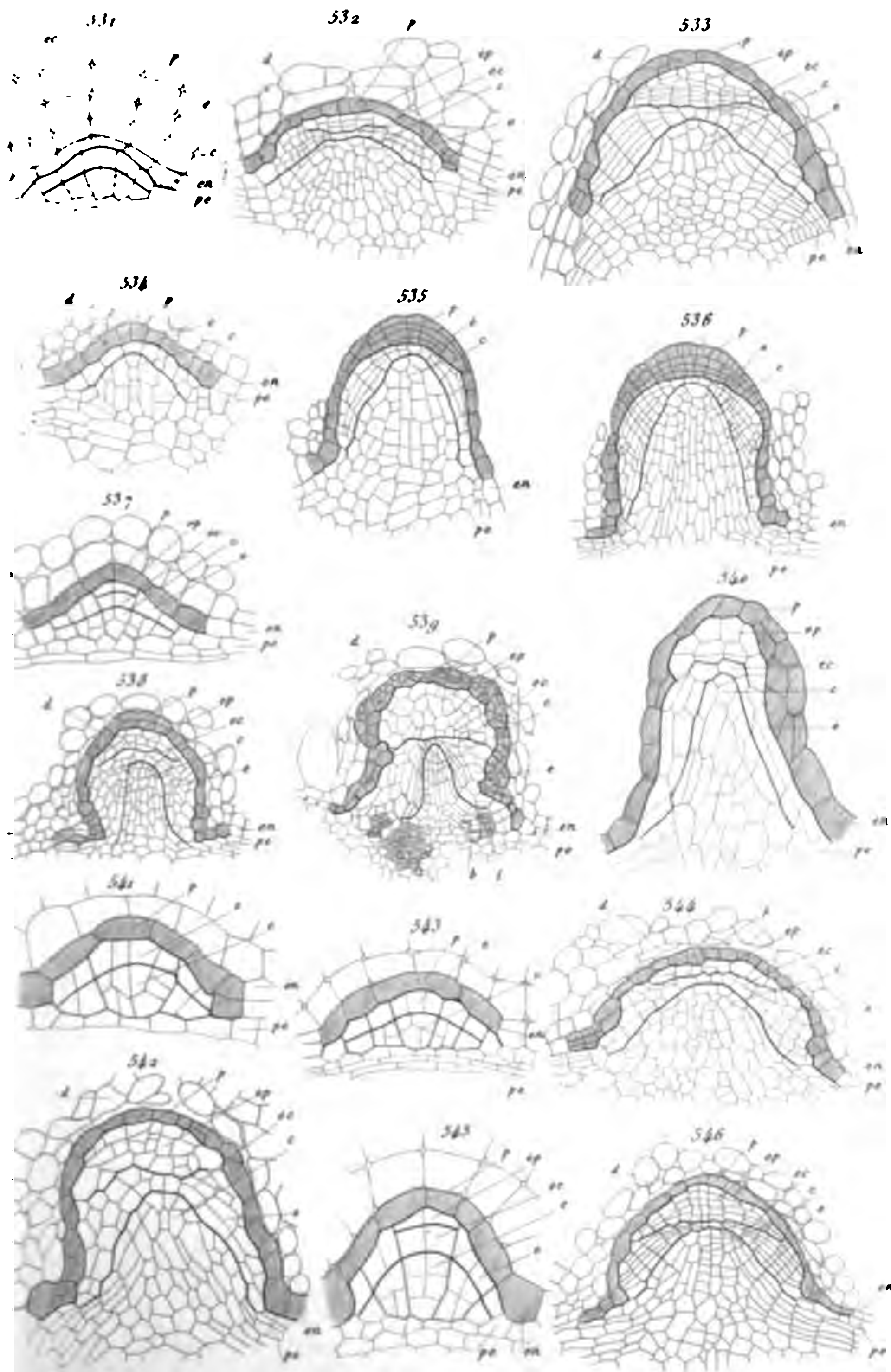


Ph. Van Tieghem et H. Douliot del.

Bimely sc.

Origine des racines latérales — Monocotylédones.

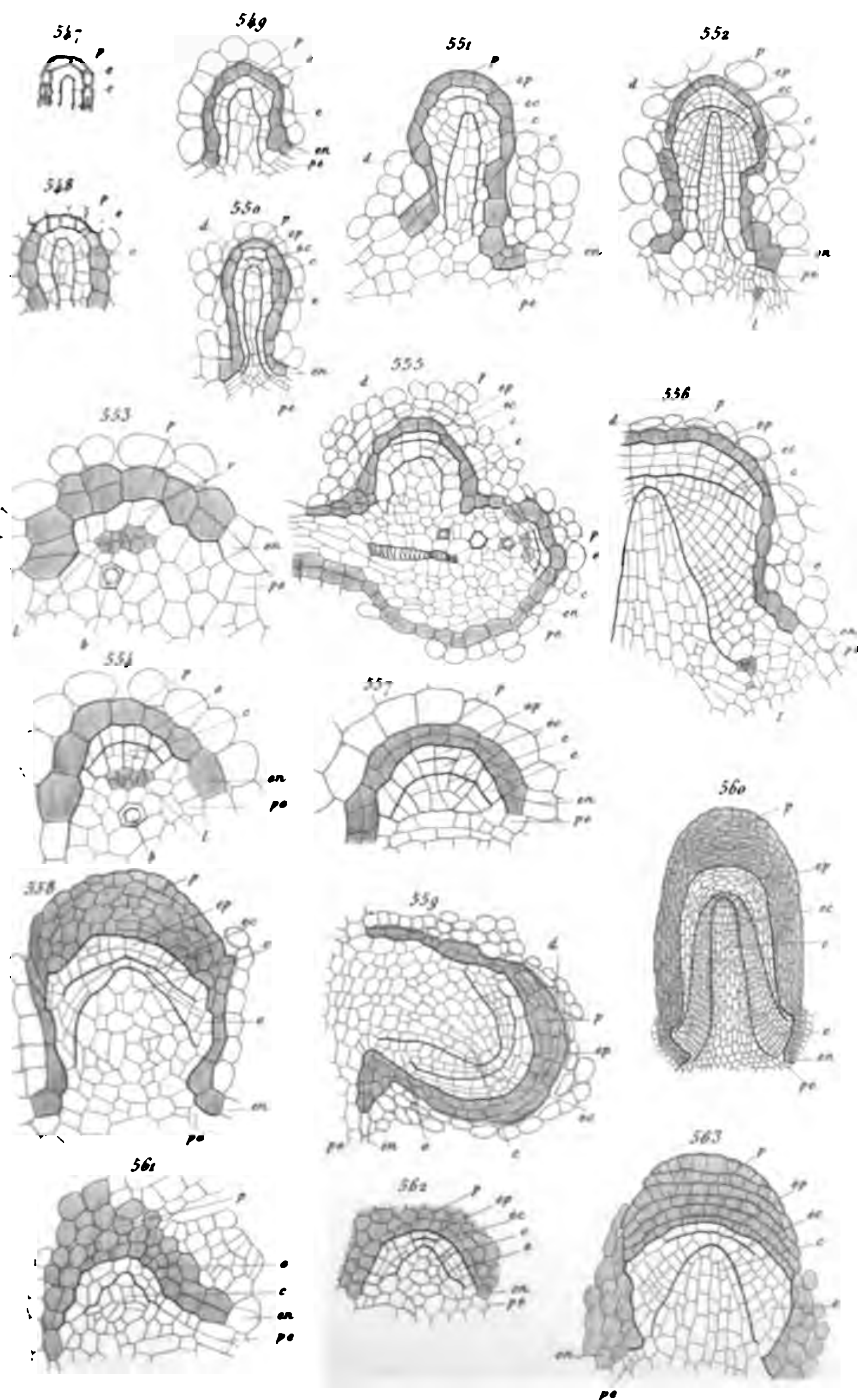
Alismées (514–524) — Butomées (525–530).



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des racines latérales — Monocotylédones.

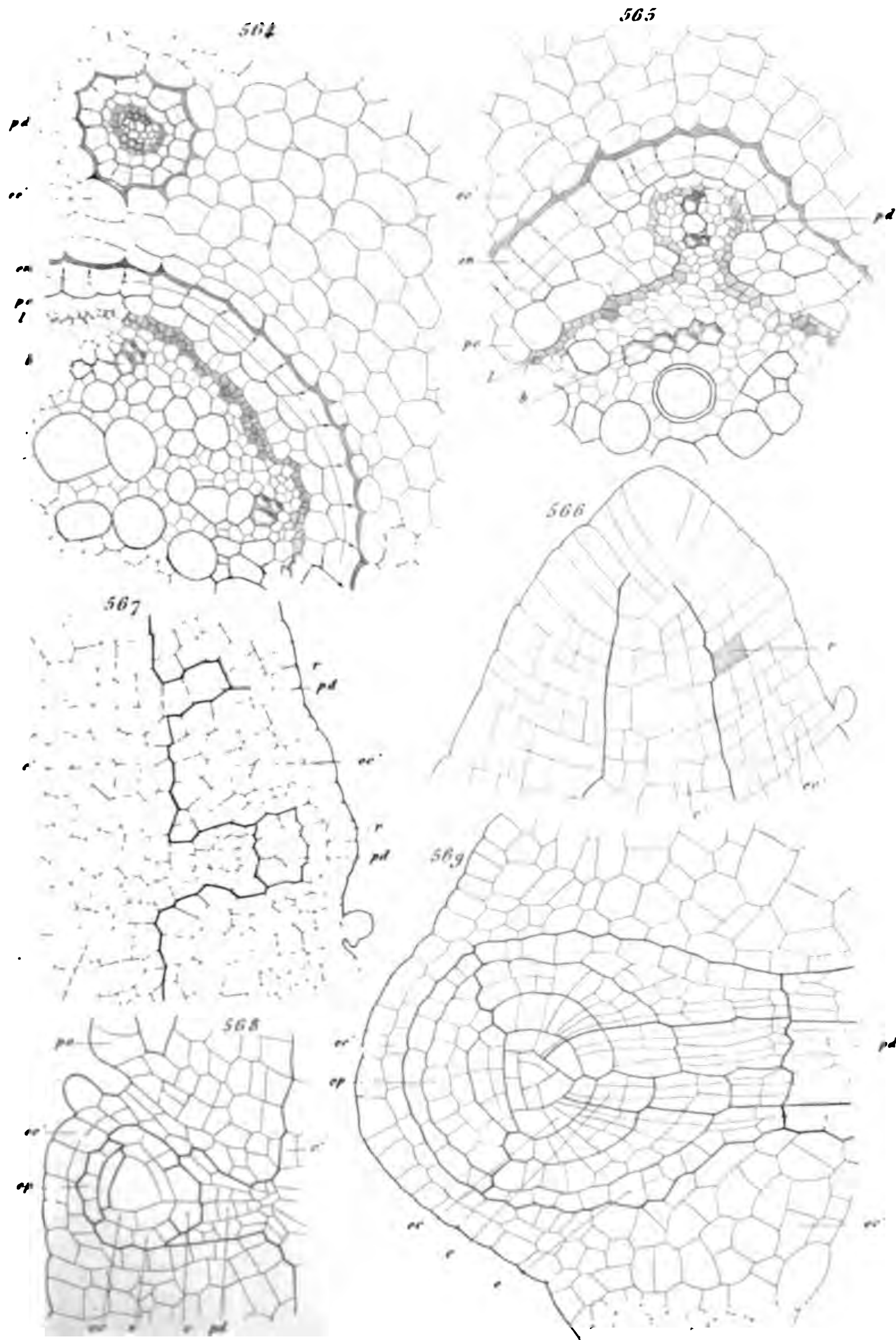
Commelinacées 531-533 _ Pontédériacées 534-536 _ Liliacées 537-540 _ Iridées 541-542 _ Zingibérées 543-544 _ Cannées 545-546



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Bonnet sc.

Origine des racines latérales — Monocotylédones.

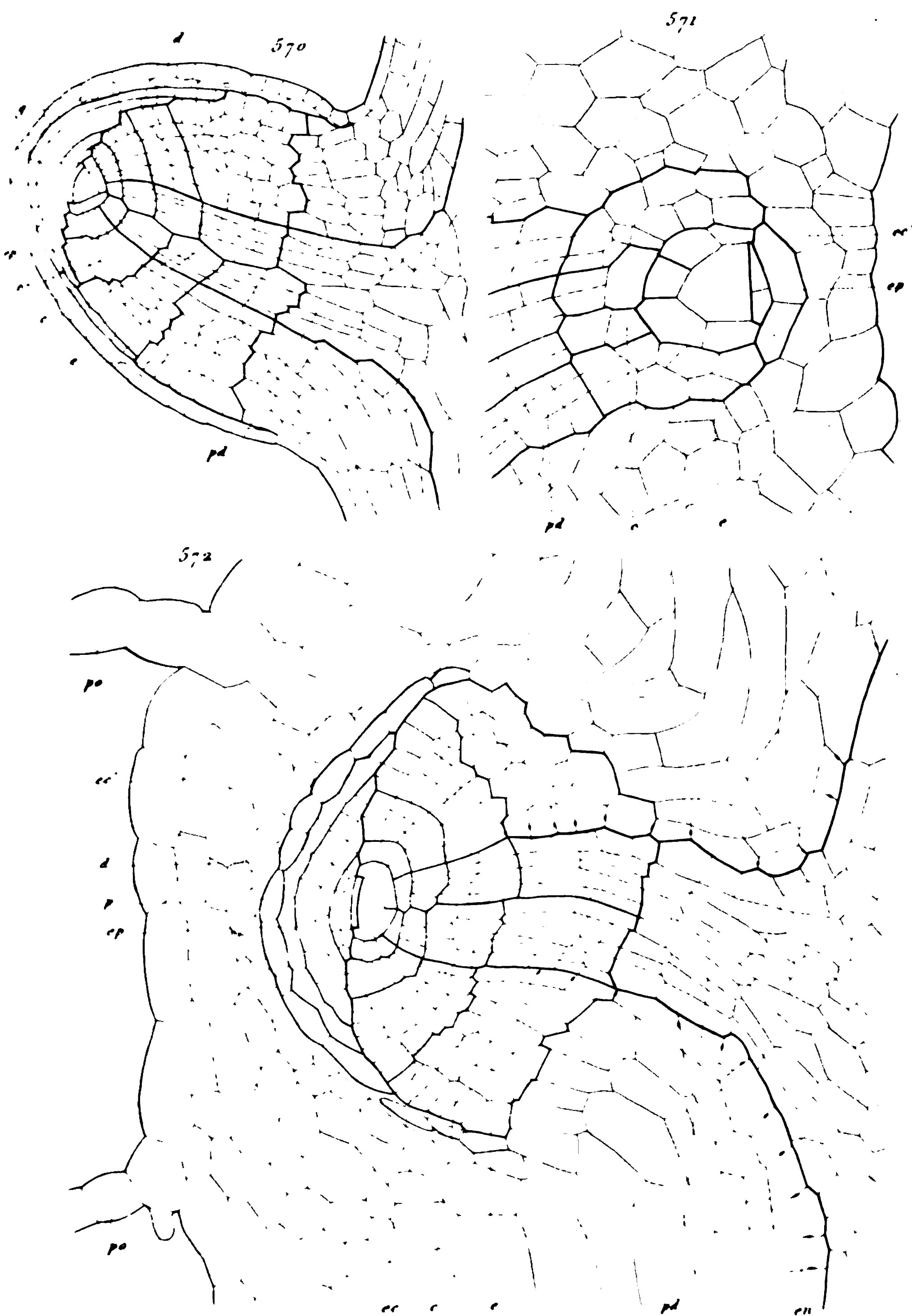
Hydrocharidées 547-563 1.



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Himely sc.

Origine des racines latérales — Cryptogames vasculaires.

Fougères (564 - 569)



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del.

Himely sc.

Origine des racines latérales _ Cryptogames vasculaires.

Fougères (570_572)

573

574

575

577

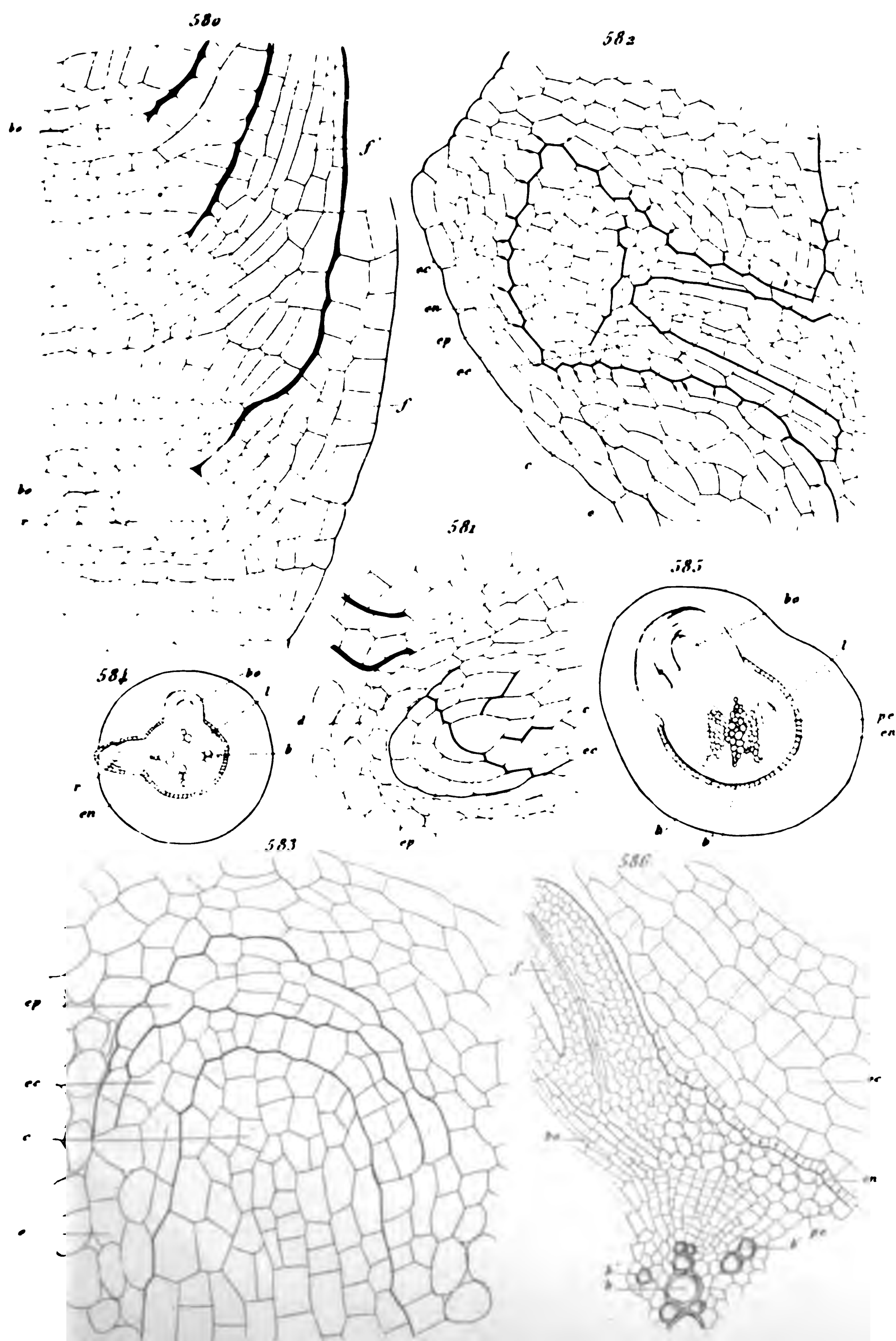
578

576

579

Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Himely sc.

Origine des racines latérales — Cryptogames vasculaires.



Ph. Van Tieghem et H. Douliot del. Humely sc.

Origine des racines latérales — Cryptogames vasculaires.

Equisétacées (580-582). Lycopodinées (583-586)

580.5
A613

